

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica



**SISTEMA NO INTRUSIVO DE DETECCIÓN DE
CONGELACION EN CONDUCTOS DE AGUA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Jesús Pastrana Sáenz-López

2011

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica

Master Universitario en Innovación Tecnológica en Edificación

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**SISTEMA NO INTRUSIVO DE DETECCIÓN DE CONGELACIÓN
EN CONDUCTOS DE AGUA**

Autor

Jesús Pastrana Sáenz-López

Director/a o Directores/as

Carlos Morón Fernández

Alfonso García García

Subdirección de Investigación, Doctorado y Postgrado

2011

Resumen

En el presente trabajo se ha desarrollado un sistema novedoso capaz de detectar un problema bastante común dentro de las instalaciones de la edificación, concretamente en la de fontanería, como es la congelación.

Una situación constante y que genera notorios problemas hasta el momento en los edificios es la congelación del agua en las tuberías. Al producirse la congelación, el agua incrementa un 10% su volumen, lo que aumenta notablemente la presión en el interior de la red.

La solución actual es disponer en la red de vasos de expansión, que son un sistema de protección pasivo que dotan de mayor volumen a la red, que se rellena al producirse la congelación del fluido, evitando la sobrepresión en la red y los riesgos que conlleva.

Este sistema tiene el problema de que al ser pasivo, se permite la congelación total del fluido, lo que repercute directamente en la calidad del suministro de agua en los puntos de consumo.

Para evitar estos problemas, se ha desarrollado el elemento sensor de un sistema de protección activo, que detecta las congelaciones en el fluido. Este sistema con los sistemas auxiliares necesarios, puede evitar las congelaciones, mejorando la calidad de la instalación y del suministro de agua.

El sensor, cuya función es la de enviar una señal al producirse principios de congelación, formará parte de un sistema más avanzado y complejo de protección, que se desarrollará posteriormente.

El sensor desarrollado, así como el sistema de protección futuro, están enfocados principalmente en este trabajo para edificación. Pero, al tratar un problema tan generalizado y ofrecer importante información de un modo simple y eficaz, también tiene aplicación en procesos industriales, así como en los productos y maquinaria industrial.

El dispositivo desarrollado, al no ser intrusivo, se ha previsto para poderse instalar en obras de nueva planta, así como también en rehabilitación o reformas.

Abstract

In this work we present a innovative developed system able to detect the water freezing inn pipes. This problem is usual into building installations, specifically in plumbing installations.

A common situation that creates important problems in buildings is the water freezing in pipes. When this problem happens, the water increases its volume in 10% and the pressure into the pipes increases greatly.

The solution applied today is to have expansion tanks into the plumbing installation. This is a passive protection system that gives more volume to the installation. When there are a water freezing can be filled up, avoiding the overpressure and all the risks and problems.

This passive system has the problem that allows the all installation water freezing. This has a negative effect over the quality of water supply in the final consumption points.

To avoid these problems, it has been developed a sensor element of an active protection system that detects the water freezing. This system, complemented whit some auxiliary systems, can avoid the water pipe freezing, and so improve the quality of the installation and the water supply.

The sensor, which function is to send a signal when the water freezing is beginning, will be a part of a bigger and more complex protection system, which will be developed later.

The developed sensor and the future protection system, in this work, are made to work in buildings installations. But it also can have some applications in industrial process, products, and industrial machinery, because has an efficient solution to a very general problem.

The developed sensor is not intrusive, so it will be suitable to be installed in new buildings, but also in rehabilitations and reforming building works.

Índice general

Resumen	i
Abstract	iii
Índice general	v
1 Introducción	1
2 Objetivos	3
3 Estado del arte	5
3.1 Métodos de medida	6
3.2 Clasificación de sensores	8
3.3 Sensores capacitivos	27
4 Planteamiento metodológico y estructura del trabajo	39
4.1 Metodología	39
4.2 Estructura	39
5 Desarrollo del trabajo	41
6 Resultados	63
Conclusiones	69
Futuras líneas de investigación	71
Bibliografía	73
ANEXO I	77
ANEXO II	85

1 Introducción

El presente trabajo consiste en el diseño y construcción de un sensor que detecta, mediante un sistema no intrusivo, cambios de estado en el agua de los conductos de abastecimiento de agua. El sensor está clasificado dentro de la categoría de los sensores capacitivos, ya que su sistema de detección se basa en la variación de capacidad que sufre un condensador al variar la permitividad dieléctrica del medio que separa las placas del condensador del circuito.

Este sensor se ha diseñado tratando de optimizar su sencillez, con un bajo mantenimiento, movilidad, resistencia a las vibraciones, resistencia a los efectos medioambientales y dotándole de capacidad para funcionar con los diferentes tipos de materiales y diámetros empleados en tuberías de fontanería.

Se trata de un dispositivo que permite conocer más información del fluido de forma directa, y generar una señal que permita evitar la congelación del fluido, es decir, actuar previamente para que la congelación no destruya o deteriore las instalaciones, no disponer medios para evitar el problema de forma indiscriminada. El sensor no solo tiene aplicación en conductos de la red de fontanería de las edificaciones residenciales u oficinas, sino que es igualmente válido para aplicaciones industriales, ya que se solventa el mismo problema.

Hay que tener en cuenta la justificación de este trabajo, ya que el agua no siempre se congela a una temperatura ambiental de cero grados. Esto es debido, entre otros factores, a que la temperatura de congelación del agua fluyente es diferente de la estancada. También influyen otros parámetros, pero como se ha mencionado anteriormente, el sensor solamente envía una señal cuando la congelación alcanza el fluido, independientemente de la temperatura a la que ocurre, lo que permite conocer su estado real.

Todo sensor debe tener unas características y requisitos mínimos para garantizar su correcto funcionamiento y adaptabilidad a la situación para la que se ha diseñado. El dispositivo objeto de este trabajo se ha diseñado tratando de optimizar dichas características [4-12]:

- *Exactitud.* La exactitud de la medición debe ser tan alta como sea posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar sin errores sistemáticos positivos o negativos en la

medición. Sobre varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tenderá a ser cero.

- *Precisión.* La precisión de la medición debe ser tan alta como sea posible. La precisión significa que no existan variaciones aleatorias en la medición. Es decir, que la dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.
- *Rango de funcionamiento.* El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.
- *Velocidad de respuesta.* El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo.
- *Calibración.* El sensor debe ser fácil de calibrar. El tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos. Además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.
- *Fiabilidad.* El sensor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante su funcionamiento.

2 Objetivos

General:

Diseñar y construir un dispositivo sensor capaz de detectar un cambio de estado en los conductos de la red de abastecimiento de agua con un método no intrusivo, siendo capaz de diferenciar entre agua fluyente y agua estancada.

Específicos:

- Mejorar la eficacia de las instalaciones de fontanería frente a efectos medioambientales adversos como las heladas.
- Contribuir a la protección de las instalaciones de las edificaciones, activando un sistema de alarma que impida su deterioro y/o destrucción.
- Contribuir al desarrollo de un edificio inteligente, en el cual el propio edificio es capaz de reaccionar cuando existen circunstancias adversas.
- Eliminar de las futuras redes de agua los sistemas pasivos de protección, como los vasos de expansión.
- Conseguir que el sensor posea las cualidades y características deseables para un sensor enunciadas en la introducción.

3 Estado del arte

En la actualidad, la ciencia y la industria actual han alcanzado un nivel tecnológico muy elevado. Ejemplo de ello son las líneas de producción en masa completamente automatizadas para satisfacer las diversas necesidades humanas. Los avances tecnológicos realizados en todo tipo de campos han permitido a la humanidad llegar al punto de desarrollo que hoy conocemos. Estos y otros avances (como por ejemplo, el campo de la robótica) han sido posibles gracias, entre otras cosas, al desarrollo de los dispositivos sensores.

Los sensores, son los dispositivos que permiten “sentir” a las máquinas. En un sentido más técnico, son los elementos que se emplean para medir las diferentes variables que una máquina debe controlar para el correcto funcionamiento dentro de un determinado proceso. La sociedad actual demanda, cada vez más, todo tipo de máquinas para eliminar al ser humano de tareas tediosas, así como mejorar sustancialmente su calidad de vida. El número de campos de desarrollo se amplía constantemente y de forma exponencial, generando un incremento de las variables a medir.

A mayor nivel de tecnología y autonomía, más desarrolladas y complejas deben ser las máquinas y, por consiguiente, mayor número de variables deben ser medidas, además de aumentar la precisión de la medida. Se puede deducir, por lo tanto, el desarrollo tecnológico conlleva un desarrollo paralelo y proporcional de los dispositivos sensores.

La desbordante cantidad de dispositivos sensores existentes en el mercado genera la necesidad de establecer un criterio de clasificación para su estudio. Los siguientes criterios son solo algunos de los establecidos para su estudio, existiendo muchos más [4-8, P1]:

Según el aporte de energía

Según el ámbito de aplicación

Según la señal de salida

Según el tipo de señal de entrada

Según el modo de operación

Según la magnitud física a medir

La clasificación más empleada para proceder al estudio de estos dispositivos es *según la magnitud física a medir*.

3.1 Métodos de medida

Capacitivo: Convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio de capacidad. Dado que un condensador consiste básicamente en dos electrodos separados por un dieléctrico, el cambio de capacidad puede ocasionarse por el movimiento de uno de los electrodos, acercándose o alejándose del otro electrodo o mediante cambios en el dieléctrico situado entre los dos electrodos fijos [4-12, 23, 25, 27]

Inducción: Convierten un cambio de la magnitud en un cambio de la autoinductancia de un bobinado único. Los cambios de inductancia pueden efectuarse mediante el movimiento de un núcleo ferromagnético interior al devanado o mediante cambios de flujo introducidos externamente en un bobinado con un núcleo fijo [4-12, 23, 25, 27].

Reluctancia: Convierten un cambio de la magnitud en un cambio de tensión debido al cambio en la reluctancia del campo magnético entre dos o más bobinados (o porciones separadas de uno o más bobinados), con una excitación aplicada al sistema de bobinados. Esta categoría además incluye los elementos de reluctancia variable, transformador diferencial y puente de inductancias. El cambio en la reluctancia se realiza usualmente, mediante el movimiento de un núcleo magnético interior al sistema de devanado [4-12, 23, 25, 27].

Electromagnético: Convierten un cambio de la magnitud a medir en una fuerza electromotriz (tensión de salida) inducida en un conductor debido a un cambio en el flujo magnético en ausencia de excitación. El cambio en el flujo magnético se realiza usualmente en un movimiento relativo entre un electromagneto y un imán o una porción de material magnético [4-12, 23, 25, 27].

Piezoeléctrico: Convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio en la carga electrostática (Q) o tensión (E) generada por ciertos materiales cuando se encuentran sometidos a un esfuerzo mecánico. El esfuerzo se desarrolla mecánicamente, mediante fuerzas de tensión o compresión, o por fuerzas de cortadura ejercidas directamente sobre el material por un elemento sensor o por un elemento de enlace mecánico ligado al elemento sensor [4-12, 23, 25, 27].

Resistivo: Convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio en la resistencia. Los cambios de resistencia pueden realizarse en los conductores así como en los semiconductores por diversos medios, como calentamiento o enfriamiento, aplicación de esfuerzos mecánicos (para utilizar el efecto piezorresistivo), por humidificación o deshumidificación de ciertas sales electrolíticas o por movimientos en el brazo de la escobilla de un reóstato [4-12, 23, 25, 27].

Potenciométrico: Convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio en la relación de tensiones, mediante un cambio en la posición de un contacto móvil (escobilla) sobre un elemento resistivo en cuyos bordes se ha aplicado una excitación. La relación dada por la posición de la escobilla es básicamente una relación de resistencias [4-12, 23, 25, 27].

Galgas extensiométricas: Convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio de resistencia debido a una deformación, en dos o cuatro brazos de un puente de Wheatstone. Este principio de transducción es una versión especial de transducción resistiva, sin embargo, se compone de dos o cuatro transductores de esfuerzo resistivos (galgas extensiométricas) conectados a un circuito en puente de Wheatstone al que se le aplica una tensión de excitación, de manera que la salida es un cambio de tensión [4-12, 23, 25, 27].

Fotoconducción: Convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio de la resistencia (o conductancia) de un material semiconductor debido a un cambio en la cantidad de iluminación incidente sobre el material [4-12, 23, 25, 27].

Fotovoltaico: Convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio en la tensión generada cuando la iluminación incidente sobre una unión entre ciertos materiales distintos cambia [4-12, 23, 25, 27].

Termoeléctrico: Convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio en la fuerza electromotriz generada por la diferencia de temperaturas existente entre las uniones de dos materiales distintos seleccionados (efecto Seebeck) [4-12, 23, 25, 27].

Ionización: Convierten un cambio en la magnitud a medir en un cambio en la corriente de ionización, ejercida sobre un gas entre dos electrodos [4-12, 23, 25, 27].

3.2 Clasificación de sensores

A continuación vamos a mostrar información detallada de las clasificaciones de sensores [4-12, 26-27, P1]:

3.2.1 Por aporte de energía

Moduladores o activos: Se trata de aquellos elementos sensores que requieren una fuente de alimentación externa. Suele consistir en un circuito de polarización y/o alimentación. En este tipo de sensores la señal externa aplicada es modulada por el sensor, dando lugar a la señal de salida. Ejemplos: Todos los sensores resistivos, los magnetotransistores y fotorresistencias.

Generadores o pasivos: Son los sensores capaces de generar una señal eléctrica por sí mismos, sin aporte externo de alimentación. Son dispositivos muy adecuados para la medida de señales débiles. Ejemplos: Termopares y muchos de los sensores piezoeléctricos.

3.2.2 Por la señal de salida

Analógicos: Son aquellos que emiten una señal con valores instantáneos, proporcionales a la magnitud que se esta midiendo y de forma constante en el tiempo. Ejemplo: Sensores generadores de señal y los de parámetros variables.

Digitales: Son aquellos en los que su salida solo toma dos valores (1 o 0), encendido o apagado. Ejemplos: codificadores de posición, codificadores incrementales, codificadores absolutos, los sensores autoresonantes.

Todo o nada: Sensores programados para detectar si la variable medida supera un umbral determinado previamente. Ejemplos: Sensores de proximidad inductivos o capacitivos.

3.2.3 Por el modo de operación

De deflexión: Se trata de dispositivos en los cuales la magnitud que se está midiendo genera en el dispositivo sensor un impulso físico opuesto en alguna parte del sistema, el cual está relacionado con una variable útil. Ejemplos: el mejor ejemplo para este tipo de sensores es un dinamómetro.

De comparación: En estos sensores se trata de mantener la deflexión a cero, aplicando un efecto contrario al generado. Pueden ser muy sensibles y la medida es de mejor calidad, pero tienen menor respuesta dinámica y no se suele lograr una respuesta tan rápida como en los de deflexión.

3.2.4 Por el ámbito de aplicación

Gestión climática: Todos aquellos que aportan información sobre variables que afectan al clima. Ejemplos: Sensores de temperatura, termostatos, sondas de temperatura para inmersión, humedad, presión.

Gestión contra incendio: Todos aquellos que aportan información sobre las variables relacionadas con un incendio y sus características. Ejemplos: Sensores iónicos, termovelocimétricos, ópticos, de infrarrojos, ópticos de humos, de dilatación.

Gestión contra intrusión / robo: Detectan las variables que influyen en una situación de intrusión / robo. Ejemplos: Sensor de presencia por infrarrojos, microondas o ultrasonidos, apertura de puertas y ventanas, rotura de cristales, microfónicos, alfombra pisada.

Control de presencia: Aquellos que informan sobre la presencia de un ser. Ejemplos: Lector de teclado, lector de tarjetas, identificadores corporales (biométricos).

Control de iluminación: Detecta los diferentes niveles de luminosidad y pueden ser tanto discretos como continuos. Ejemplos: Sensor de luminosidad.

Otros sistemas: Todos aquellos que no encajan con las gestiones anteriores. Ejemplos: Sensor de lluvia, de viento, de CO₂, de gas, de inundación, de consumo eléctrico, de consumo de agua, de nivel de depósito, etc.

3.2.5 Por el tipo de señal de entrada

Mecánica: Entre otras, son longitud, área, volumen, masa, flujo, fuerza, torque, presión, velocidad, aceleración, posición, etc.

Térmica: Entre otras, son temperatura, calor, entropía, flujo de calor, etc.

Eléctrica: Entre otras, son voltaje, corriente, carga, resistencia, inductancia, capacitancia, constante dieléctrica, polarización, campo eléctrico, etc.

Magnética: Entre otras, son intensidad de campo, densidad de flujo, momento magnético, permeabilidad, etc.

Radiación: Entre otras, son intensidad, longitud de onda, polarización, fase, transmitancia, índice de refractancia, etc.

Química: Entre otras, son composición, concentración, oxidación/potencial de reducción, porcentaje de reacción, PH, etc.

3.2.6 Por la magnitud medida

En este apartado se desarrolla más explícitamente cada una de las magnitudes y sus sensores asociados, así como una breve mención de sus características, ya que es una de las formas más comunes de clasificación de estos dispositivos. Es necesario aclarar que, debido a la ingente cantidad de elementos sensores desarrollados para cada magnitud, lo expuesto aquí no es más que una pequeña parte de lo existente, ya que un desarrollo amplio en este sentido exige la elaboración de un trabajo con una extensión muy superior al aquí presentado.

3.2.6.1 Mecánica de sólidos [4-8, 17,19, 24, 25, P8-4-2-1]

Aceleración y vibración

Se emplea un método de sensado en el que la aceleración actúa sobre una masa de ensayo (sísmica), sujeta por muelles y con movimiento amortiguado. Cuando la caja sufre un movimiento acelerado, la masa se mueve debido a esa aceleración, retornando a su posición inicial una vez finalizado el impulso. Este desplazamiento queda registrado en el sistema, obteniendo la aceleración. Este sistema es válido para medir la aceleración en una dirección. En un acelerómetro angular, el funcionamiento es igual, respondiendo a desplazamientos y aceleraciones angulares.

Una vez conocido el mecanismo, algunos de los modelos desarrollados son los siguientes:

Acelerómetros capacitivos: En estos modelos, la masa de ensayo va ligada a un electrodo móvil, siendo el otro fijo. Cuando se aplica la aceleración, la posición del electrodo móvil varía, generando un cambio en la capacidad.

Acelerómetros piezoeléctricos: El eje longitudinal detecta la aceleración, la transmite a la masa de ensayo, la cual varía la fuerza que ejerce sobre un cristal piezoeléctrico, provocando una carga eléctrica.

Acelerómetros potenciométricos: El desplazamiento del eje que contiene la masa está enlazado a un brazo palanca que mueve proporcionalmente el elemento resistivo de un potenciómetro.

Acelerómetro por reluctancia: La masa de ensayo se encuentra suspendida entre los arrollamientos mediante resortes paralelos en voladizo. El desplazamiento de la masa (núcleo ferromagnético) provoca cambios de tensión.

Acelerómetro de galgas extensiométricas: En este sistema, el desplazamiento del eje y de la masa de ensayo se traduce en un cambio de resistencia, debido a la tensión mecánica, en dos de los brazos de un puente de Wheatstone.

Acelerómetros de cable vibrante: La aceleración provoca un cambio en la frecuencia de resonancia de un cable en tensión con un campo magnético permanente, que con el paso de una corriente causa la vibración del mismo.

Actitud y cambios de actitud:

Son métodos sensores enfocados a detectar cambios de orientación en cualquiera de los 3 ejes posibles de movimiento de un vehículo, y pueden clasificarse en base al sistema de referencia respecto al que se determina dicha orientación, que pueden ser: referencia inercial, gravitacional, magnética, por caudal de fluido, óptica y de radio. Estos son algunos de los sistemas desarrollados para este sensado:

Giroscopos de orientación: Un rotor que gira rápidamente se soporta sobre una estructura de anillos rotatoria a su vez, unida con unos cojinetes a la caja del sensor. El eje alrededor del cual la estructura puede girar libremente es perpendicular al eje de giro del rotor. La posición espacial del eje del rotor

permanece fija cuando el rotor gira, un cambio de orientación se traduce en un desplazamiento angular entre el eje de la estructura de anillos y la caja. Este desplazamiento se puede traducir a una señal eléctrica mediante un elemento potenciométrico, con el brazo palanca acoplado al eje de la estructura.

Sensor de actitud con referencia gravitacional o inclinómetros: El más sencillo es el de péndulo, que consiste en un peso montado en el segmento plano de un círculo, de manera que pueda girar. El segmento se une a un disco no conductor sobre el que se coloca un elemento potenciométrico curvado, y colocando un brazo palanca solidario al soporte móvil del peso. Cuando gira el peso, el brazo mueve la resistencia potenciométrica.

También existe la variación de inclinómetro de reluctancia, que produce una salida proporcional al seno del ángulo de inclinación. Emplea una masa, cuya inclinación es detectada mediante un sensor de posición por reluctancia.

Sensor de actitud con referencia magnética: El ejemplo más claro de este tipo de sensores es una brújula. Consiste en una aguja imantada acoplada al brazo móvil de un potenciómetro. Los dispositivos que existen son variaciones de la versión básica explicada, tales como una brújula de puerta-flujo o una brújula de inducción.

Sensor de actitud con referencia por caudal y flujo: Estos sistemas basan su detección en la dirección del caudal de fluido observado en el vehículo. Se emplea un alabe único, giratorio, para este fin. Se instala de manera que la parte afilada de la cuña se autoalinea con el caudal de fluido en la superficie del vehículo, detectando así la dirección y orientación.

Sensor de actitud con referencia óptica: Se suelen emplear para detectar orientaciones en vehículos espaciales, principalmente. Estos elementos miden la orientación con respecto a una línea trazada entre el vehículo y un elemento emisor o reflector de luz, cuya posición es conocida. Los principales elementos son el sol, algunas estrellas, los bordes de la tierra y otros planetas.

Sensor de actitud con referencia de radio: El sensor más empleado es la radiobrujula, que consiste en un radio-receptor con antena rotatoria altamente direccional. Cuando la antena gira de modo que la señal recibida es máxima, la posición se puede determinar en función de la posición de la antena de recepción. Cuando las desviaciones esperadas son pequeñas, se puede usar

una antena fija, detectando las pequeñas variaciones por el cambio en la amplitud de la señal de recepción.

Desplazamiento, posición y movimiento:

La clasificación está realizada en base al parámetro variable.

Capacitivos: Se basan en que el cambio de capacidad es proporcional a cambios de desplazamiento. Entre los diversos modelos se encuentra: dieléctrico móvil, rotor móvil sin contacto, rotor móvil con un estator único acoplado, rotor móvil con estator hendido, acoplado.

Inductivos: Estos dispositivos pueden ser divididos en dos versiones: acoplados y sin contacto. El diseño acoplado emplea un núcleo permeable magnético deslizante, que se mueve dentro de una bobina. La bobina se conecta a un oscilador LC de modo que el cambio de inductancia se traduce en un cambio de frecuencia en la salida.

Los diseños sin contacto son más comunes que los de acoplo. La proximidad relativa de la bobina sensor al objeto a medir causa cambios en la inductancia. Las medidas son más eficaces si el objeto esta construido de material ferromagnético con alta permeabilidad.

Reluctancia: El más utilizado es el transformador diferencial, que se emplea tanto para desplazamientos angulares como para lineales. También se emplea, aunque menos, el puente de inductancias. Los potenciómetros de inducción y los generadores de señal de espira cortocircuitada se emplean para medir solo desplazamientos angulares.

Potenciométricos: Un contacto deslizante (escobilla) se mueve sobre un elemento resistivo. El contacto está ligado directamente o a través de un mecanismo al eje sensor. Se emplean tanto para desplazamientos angulares como lineales.

Por hilo vibrante: Se emplea en los detectores de desplazamientos muy pequeños. Un cambio de desplazamiento origina un cambio de tensión en un hilo delgado conectado a un circuito oscilante realimentado, variando también como consecuencia la frecuencia de oscilación. Se emplean para desplazamientos de hasta 50 nanómetros.

Electroópticos: Son los más comunes sin contacto. Cuando la superficie de un objeto que queremos medir es suficientemente reflectora puede usarse un par fuente/sensor de luz para medir desplazamientos pequeños. Si la superficie no es suficientemente reflectora, se puede añadir un reflector. Se basa en que la salida eléctrica del sensor decrece exponencialmente según aumenta la distancia al objeto. Los diodos emisores de luz infrarroja (LED) son muy utilizados como fuentes luminosas.

Codificadores lineales y angulares: Miden desplazamientos generando salidas digitales sin necesidad de un convertidor analógico/digital. Existen principalmente tres tipos:

En el *codificador del tipo de escobilla*, un disco móvil contiene segmentos conductores y aislantes en su superficie, de modo que cuando la escobilla entra en contacto con un segmento conductor se produce un cierre del circuito (salidas 0 y 1).

En el *codificador óptico o fotoeléctrico*, un disco transparente tiene segmentos opacos en su superficie, de modo que interrumpen un haz de luz dirigido a un sensor de luz, generando dos salidas: corte y paso (0 y 1).

En el *codificador magnético*, un disco móvil tiene el área partida en áreas imanadas y no imanadas. Un núcleo ferromagnético provisto de un arrollamiento de entrada y otro de salida se aproxima a la superficie. Se aplica una señal de entrada al arrollamiento de entrada, y cuando el núcleo está sobre un segmento no magnetizado, el núcleo no se satura y se produce una salida 1. Si el núcleo está sobre un segmento magnetizado se satura y no hay señal de salida (0).

Dispositivos radar y sonar (sensores de distancia): Emiten un pulso de energía hacia un cuerpo, determinando la distancia al mismo por el tiempo transcurrido desde la emisión del pulso hasta la recepción del pulso reflejado (eco). El elemento puede trabajar tanto como emisor como receptor.

Fuerza, masa y peso:

Los parámetros básicos que se tienen en cuenta en estos sensores son: tamaño y forma, densidad de material, módulo de elasticidad, sensibilidad a la deformación y a la deflexión, respuesta dinámica y los efectos de la carga del sensor sobre el sistema a medir. De una forma superficial, se puede decir que

los elementos sensores para estas variables son de los siguientes tipos: vigas, anillos, columnas o diafragmas. Algunos de los posibles diseños son:

Capacitivos: Los electrodos se conectan como elementos controladores de frecuencia en un oscilador de manera que el sensor produce una salida modulada en frecuencia (sinusoidal o cuadrada).

Reluctancia: Son usuales los tipo LVDT, a veces del tipo de puente de inductancias, convierten la deflexión en una señal eléctrica. Responden a la aplicación de fuerzas bidireccionales (tracción y compresión) con cambios de amplitud de la tensión de salida, así como con una inversión de fase cuando la fuerza cambia de dirección.

Galgas extensiométricos: Son los más utilizados y son denominados comúnmente como “células de carga”.

Piezoeléctricos: Su aplicación fundamental es la de medición de fuerzas con fuertes fluctuaciones (medidas de fuerza dinámicas), incluyendo las fuerzas de impacto. Únicamente responden a las fuerzas de compresión, aunque se pueden montar de manera que se encuentre precargado con una compresión inicial. Responden así, de manera bidireccional a fuerzas fluctuantes.

Par:

Estos son ejes sensores especiales, insertados entre la fuente de potencia y la carga (drenaje de potencia). Cuando un par, producto de la fuerza F por el brazo de aplicación, se aplica a un eje cilíndrico en un extremo, cuando el otro extremo permanece fijo, el eje experimenta un giro torsional. El ángulo de deflexión en el lado de entrada es proporcional al par y a la longitud del eje, e inversamente proporcional a la cuarta potencia del diámetro y al modulo de rigidez del eje.

Las barras de torsión incorporan una sección más estrecha, circular o cuadrada, con las siguientes ventajas: hace más fácil montar las galgas, permite colocar los contactos de cables en la esquina del cuadrado, tiene una frecuencia de resonancia elevada y le afectan menos las cargas laterales. Como en todos los casos, las topologías que se pueden dar son:

Reluctancia: Se emplea la deflexión angular de una barra de tensión que actúa sobre un transformador diferencial de variación lineal (TDVL) unido por un brazo rígido a la barra de torsión radialmente o mediante vigas en voladizo. Otro método es el de usar transformadores diferenciales de variación rotacional (TDVR) para sensar el desplazamiento angular de la barra de torsión o de dos discos encarados y cargados con un muelle en el plano de rotación.

Fotoeléctricos: Cada extremo de la barra de torsión transporta segmentos reflectores de luz según un código. Los segmentos se iluminan mediante haces colimados de luz y la luz reflejada se detecta con un sensor de luz (fotocélula). Así, la salida de cada sensor es un tren de pulsos. Cuando aparece una deflexión el eje, se produce un desfase entre ambos trenes de pulsos, que es proporcional al par.

Inductivos y electromagnéticos: El funcionamiento es similar al de los fotoeléctricos, sustituyendo los segmentos ópticos por segmentos magnéticos o por engranajes con dientes.

Extensiométricos: Emplean galgas para medir el par y los esfuerzos del eje de una barra de torsión. Son muy empleados para medir pares con unos márgenes elevados. Las galgas que se suelen emplear son del tipo laminar, sobre todo en las barras de tensión cuadradas, aunque también en las redondas.

Velocidad:

Existen varios métodos para detectar la velocidad:

Mediante dispositivos electromagnéticos en los que un cambio en el flujo magnético induce una fuerza electromotriz en un conductor (devanado), que es igual al producto del número de vueltas en el devanado y el cambio de flujo magnético por unidad de tiempo. Este método se emplea en fluctuaciones bidireccionales o en movimientos oscilantes.

También se puede medir determinando la velocidad de rotación y luego la lineal trasnacional, conociendo el radio. Este método se emplea, por ejemplo, en los rodillos de medición que están unidos mediante una palanca-muelle al vehículo, dando información de la velocidad a la que se desplaza.

Como la aceleración es la variación de la velocidad en el tiempo, la velocidad puede ser determinada integrando la salida de un acelerómetro. En muchas aplicaciones con acelerómetros se añaden circuitos integradores para poder generar también la velocidad.

Existen sistemas basados en el efecto Doppler. La medición de la velocidad del objeto se determina a partir del corrimiento en frecuencia de las señales transmitida y reflejada por dicho cuerpo, situándose el observador junto a los instrumento de recepción y transmisión. El corrimiento que sufre la señal en vehículos espaciales, es empleada para determinar la velocidad del vehículo (y la posición, por integración).

Los detectores de velocidad vertical, en vehículos aéreos, se desarrollan diferenciando la salida de un transductor de presión-altitud dado que la velocidad vertical es el cambio de altitud en la unidad de tiempo. Algunos de los dispositivos empleados son (sin entrar en su desarrollo): Sensores electromagnéticos: Emplean el sistema de imán y bobinado; Generadores tacométricos electromagnéticos; Tacómetros electromagnéticos de rotor dentado; Tacómetros Electroópticos; Dispositivos para medir la velocidad angular: tacómetros capacitivos, extensiométricos y del tipo interruptor.

Esfuerzos y deformaciones mecánicas:

A pesar de emplear en la medida de esta variable dispositivos de reluctancia, capacitivos, cables vibrantes y fotoópticos (foto-esfuerzos), los dispositivos mas empleados son las galgas extensiométricas. Son elementos con características piezorresistivas, es decir, varia su resistencia debido a las tensiones o compresiones de la superficie. La forma más común de detectar esta tensión es disponer una, dos o cuatro galgas en forma de puente de Wheatstone, ya que se genera una tensión proporcional a la variación de resistencia que sufre la galga activa.

El esfuerzo se relaciona con la deformación a través de la ley de Hooke, de modo que si se conoce el modulo de elasticidad del objeto cuya deformación se mide, se puede determinar el esfuerzo soportado.

Los diferentes tipos de galgas son, entre otros: De hilo metálico; Laminas metálicas; De metal depositado; Semiconductores; De aplicaciones especiales (galgas posrecuperación, de vida-fatiga, de propagación de ruptura).

3.2.6.2 Mecánica de fluidos [5-8, 20-24, P10-5-4-2-13]

Densidad:

Se emplean diversos principios para su medición. El principio de flotación es muy usado en densímetros manuales, pero poco en sensores electrónicos.

Los capacitivos emplean la correlación existente entre la densidad y la constante dieléctrica de un determinado líquido. La constante dieléctrica de un líquido varía proporcionalmente a la densidad del líquido.

También se emplean dispositivos fotoeléctricos, en forma de refractómetros, ya que el índice de refracción está relacionado con la densidad.

Los sensores sónicos se basan en la variación de la velocidad de propagación del sonido a través de un líquido con la variación en la densidad (o gravedad específica) del líquido.

Los dispositivos sensores nucleónicos se basan en la atenuación creciente de los rayos gamma, pasando a través de un líquido, con un aumento de la densidad.

Dispositivos de elemento vibrante utilizan el cambio en la frecuencia natural de un elemento mecánico, manteniendo dentro de un líquido, con la densidad del fluido.

Flujo o caudal:

El flujo es el movimiento de un fluido por un conducto, sin embargo el caudal es la cantidad de material que fluye por unidad de tiempo. Para indicación o control de procesos en los que se transporta materia, estas medidas son imprescindibles. Generalmente el objetivo suele ser determinar tarifas (caso del agua, gas, o gasolina, entre otros).

La mayoría de caudalímetros se basan en métodos de medida indirectos y, en particular, en la detección de diferencias de presión provocadas por la inserción de un elemento en el conducto donde se desea medir. A continuación se desarrollan algunos de los dispositivos de medida.

Tubo de Pitot: Es un dispositivo empleado en las mediciones de velocidad en un punto.

En el caso de un canal abierto, con un fluido incomprensible y sin fricción y flujo unidimensional de dirección conocida, si se dispone un tubo en ángulo recto con una abertura dirigida aguas arriba, el líquido penetra en el tubo y sube lo suficiente para que se equilibre la presión de la columna líquida con la fuerza producida por la velocidad al impactar el fluido en la abertura.

En el caso de tubo cerrado hay que medir la presión estática mediante un manómetro y la presión total mediante un tubo de Pitot. Es un dispositivo muy empleado en aviación para medir la velocidad del aire.

Sus ventajas son la escasa caída de presión y bajo precio, siendo por ello una buena elección para tuberías de gran diámetro y para gases limpios.

Caudalímetro de obstrucción: Al generar una obstrucción o reducción de sección en un flujo de área constante, se produce una caída de presión que depende del flujo. De este modo la medida del caudal se reduce a una medida de presión diferencial.

Tiene los inconvenientes de que supone una pérdida de carga apreciable, además de que es difícil medir caudales fluctuantes, salvo si las mediciones de presión son rápidas (caso de toberas y venturímetros).

Rotatómetros: Son indicadores de caudal medio basados en el método anterior. Consisten en un tubo cónico uniforme y un obturador ranurado en su interior, que es arrastrado por el fluido, a lo que se opone con su peso. El fluido, líquido o gas circula de abajo a arriba. Si aumenta el caudal, el obturador se eleva de modo que el área de paso sea mayor y la diferencia de presiones se mantenga constante. El obturador indica de este modo el caudal del fluido.

Caudalímetros de turbina: Consisten en una rueda alabeada, dispuesta en el seno del fluido en movimiento, que provoca su giro con una velocidad proporcional a la del fluido, si esta es suficientemente alta. La velocidad de giro de las paletas se detecta mediante un captador magnético.

Vertedero de aforo: Consiste en una abertura practicada en la parte superior de una presa o pared perpendicular a la dirección del flujo, que provoca un estancamiento detrás suyo, de modo que el líquido se vierte a través de la abertura. Se convierte así energía cinética del fluido en energía potencial, y el fluido alcanza una altura sobre el punto inferior de la abertura que es función del caudal.

Humedad:

Los diferentes métodos desarrollados para sensado de la humedad son los siguientes:

Higrométricos: Proporcionan una indicación directa de la humedad. Se basa en que algunos materiales varían sus dimensiones con la absorción o eliminación de agua. Hay dos materiales orgánicos que poseen esta propiedad: el cabello, especialmente el cabello humano y algunas membranas animales. Algunos materiales inorgánicos también poseen esta propiedad y son empleados como sensores (algunos plásticos). Cuando se emplean como sensores, un muelle los mantiene en tensión, manifestando una dilatación al aumentar la humedad, se produce así un desplazamiento que puede ser traducido como señal eléctrica. Al ser el desplazamiento muy reducido, los sensores más empleados son del tipo reluctancia o galga extensiométrica.

Psicrométricos: Estos elementos son sensibles a la temperatura, tanto los que miden la humedad por el método de bulbo seco y bulbo húmedo. Siempre se emplean dos elementos separados para obtener lecturas con las que se determina la humedad relativa. El bulbo seco mide la temperatura ambiental, mientras que el bulbo húmedo se encuentra envuelto en una mecha saturada con agua destilada. El aire ventila la mecha enfriando el elemento sensor por debajo de la temperatura ambiental debido a la evaporación del agua de la mecha, la cual depende de la presión del vapor o humedad contenida en el aire. La humedad se determina a partir de la lectura de la temperatura de ambos bulbos (ábaco psicrométrico o tablas).

Punto de rocío: En la temperatura de rocío (donde la fase líquida y vapor de un fluido están en equilibrio) existe una saturación del vapor de agua. En esta condición se puede determinar la humedad si se conoce la presión. El método más frecuente consiste en enfriar una superficie cuya temperatura se puede medir, hasta que el rocío (o la escarcha) condensa sobre él.

El elemento sensor, por lo tanto, tiene dos funciones: medir la temperatura de la superficie y detectar el cambio de fase del fluido. Para medir la temperatura se suelen emplear elementos resistivos, mientras que para el cambio de fase, el más común, es el fotoeléctrico.

Métodos remotos: Implican la utilización de energías electromagnéticas dentro de las regiones del espectro de radiofrecuencias, infrarrojos o ultravioletas. Un dispositivo aplica energía de radiofrecuencia (RF) a una

muestra y determina la humedad en términos de pérdida de energía, así el contenido de humedad se relaciona con una admitancia (impedancia) electromagnética.

Presión:

La presión se suele detectar mediante elementos sensores mecánicos. Cuando la fuerza no está equilibrada, el elemento entra en flexión, lo cual se traduce en un desplazamiento o deformación. Los elementos sensores más comunes se desarrollan a continuación:

Diafragma: Es una lamina circular delgada unida continuamente alrededor de su borde. Comúnmente se emplean dos tipos básicos: el diafragma plano y el ondulado.

- Diafragma plano: Se deforman según las leyes aplicables a las láminas circulares bajo condiciones de cargas simétricas. El diafragma plano básico consiste en una lamina circular plana soportada por los bordes.
- Diafragma ondulado: Contiene un número de ondulaciones concéntricas, lo que aumenta la rigidez así como el área efectiva del diafragma, proporcionando una mayor flexión que uno plano. Las ondulaciones son más planas en la periferia debido a que la deformación es máxima cerca de la periferia y mínima en el centro.

Membranas: Son diafragmas ligeros hechos de laminas de metal delgado, caucho, neopreno o plástico. Se emplean como sensores de presión, accionados mediante un muelle que proporciona las propiedades elásticas necesarias.

Capsulas (aneroide): Consiste en dos diafragmas ondulados anulares, con las curvas de ondulación en oposición y selladas juntas por su periferia. El uso de dos diafragmas en forma de capsula duplica el efecto de flexión obtenido a partir de un diafragma único. Se puede aumentar la multiplicación empleando dos o más capsulas juntas.

Fuelles: Hechos a partir de tubos de paredes finas formando convoluciones donde uno de los extremos está cerrado. Se emplean para rangos de presión baja y cuando no existen vibraciones significativas en el ambiente. También tienen aplicación como fuelles de expansión, sellados por ambos extremos

conteniendo un gas inerte a baja presión, de esta manera se compensan los cambios del volumen del aceite amortiguante, debido al cambio de temperaturas en los sensores de amortiguamiento viscoso.

Tubo de Bourdon: Es un tubo curvado o trenzado, de sección oval o elíptica, que tiene un extremo cerrado (funda). Cuando se aplica una presión en el extremo libre, el tubo tiende a ponerse recto. Esto provoca una deformación angular del extremo cerrado (trayectoria) en los tubos curvados.

- Tubo de Bourdon en forma de C: Tiene un ángulo de curvatura de 180 – 270° y la trayectoria del extremo aumenta con el aumento de presión.
- Tubo de Bourdon en forma de U: Tiene su entrada de presión en el centro de una curva de alrededor de 270°.
- Tubo de Bourdon helicoidal: Similar comportamiento al tubo en forma de C. Como el tubo esta enrollado en una hélice multivuelta, la trayectoria del extremo es proporcionalmente mayor.
- Tubo de Bourdon en espiral: También amplifica la trayectoria del extremo debido a su configuración multivuelta.
- Tubo de Bourdon trenzado: Es aplanado, trenzado a lo largo (entre 2 a 5 giros), con la línea central del tubo a lo largo de la longitud.

3.2.6.3 Térmicas [4-8, 23, P6-4-2]

Temperatura:

Probablemente sea la temperatura el parámetro físico más comúnmente medido en una aplicación electrónica, incluso en muchos casos en que el parámetro de interés no es la temperatura, ésta se ha de medir para incluir indirectamente su efecto en la medida deseada.

La diversidad de sus aplicaciones ha condicionado igualmente una gran proliferación de dispositivos sensores y transductores, desde la sencilla unión bimetálica de los termostatos, hasta los dispositivos semiconductores más complejos.

Los diferentes métodos que existen para medir temperatura son los siguientes:

Termoeléctricos: Se basa en el efecto Seebeck. Cuando dos conductores diferentes A y B forman un circuito cerrado, y las dos uniones se mantienen a temperaturas diferentes, circula una corriente eléctrica que aumenta con la diferencia de temperatura de las dos uniones. La temperatura de referencia suele ser de cero grados. Las curvas de calibración se suelen basar en esta temperatura, y los conductores se denominan como positivo (P) y negativo (N) cuando la temperatura que se mide es mayor que la de referencia. La magnitud del potencial termoeléctrico producido por un termopar depende de los materiales del hilo y la diferencia de temperatura entre las uniones.

Cuando se requiere una elevada salida en el punto de medida, se puede conectar un determinado número de termopares en serie formando una termopila. La salida de una termopila es igual a la producida por un termopar, multiplicado por el número de termopares en la termopila.

Resistivos mediante conductores: Los conductores muestran generalmente un aumento de resistencia con la temperatura. El cambio de resistencia viene dado por el coeficiente de temperatura de resistencia del conductor, y la resistencia base de un elemento sensor de temperatura viene dada por el área seccional y la resistividad del material. Para medir temperatura, es recomendable disponer de un conductor que tenga un valor de temperatura de resistencia razonablemente alto, con el fin de obtener cambios de resistencia sustanciales, y que el coeficiente permanezca aproximadamente constante dentro de un rango amplio de temperaturas.

Resistivos mediante semiconductores: Los sensores de este tipo utilizados más ampliamente son los termistores. Los materiales semiconductores se realizan formando pequeñas perlas, discos o varillas que son posteriormente encapsuladas. Los termistores se caracterizan por una elevada resistividad y un alto coeficiente de temperatura de resistencia negativo. Los sensores que emplean germanio se desarrollaron en principio para medidas en la versión criogénica muy baja. Los sensores que emplean arseniuro de galio se emplean principalmente para medida de temperaturas criogénicas, pudiéndose utilizar en un rango entre 1 y 300 K.

Para medir temperaturas criogénicas también se emplean diversos tipos de resistencias de carbón. Aunque tienen una sensibilidad buena a muy bajas temperaturas, son deficientes en estabilidad a largo plazo y les afectan las variaciones de presión ambiental.

Otros métodos: Los sensores de temperatura de ruido térmico (termómetros de ruido) se basan en la dependencia con la temperatura del ruido térmico generado en una resistencia. La resistencia se conecta a un amplificador de elevada ganancia diseñado de manera que amplifica el ruido térmico en la resistencia sin contribuir con una cantidad significativa de ruido interna.

Los sensores de temperatura acústicos se emplean para temperaturas criogénicas bajas y también para temperaturas altas y muy altas. Se basan en que la velocidad del sonido a través de un sólido, líquido o gas disminuye según aumenta la temperatura en sólidos y líquidos, y a disminuir según aumenta la temperatura en gases.

Los capacitivos se basan en los cambios inducidos por temperatura en las características del dieléctrico. Se emplean principalmente en las regiones de medida criogénica y criogénica baja.

Los diferentes diseños de sensores existentes, entre otros, son los siguientes: Termómetros termopares; Termómetros de resistencia de hilo de platino; Termómetros de resistencia de película de platino; Termómetros con termistores; Termómetros de resistencia de germanio; Interruptores de temperatura.

3.2.6.4 Ópticas [5-8, 23, P9-6-4-2]

Fotoeléctrico:

Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que “ve” la luz generada por el emisor. Los diferentes modos de sensado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas.

Los sensores de luz se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para acondicionamiento, compensación y formateo de la señal de salida.

Algunos de los componentes que pueden formar un sensor fotoeléctrico son los siguientes:

LDR (Light-Dependent Resistor, resistor dependiente de la luz): Un LDR es un resistor que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él. Se le llama, también, fotorresistor o fotorresistencia. El valor de resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él y muy alto cuando está a oscuras.

Fotocelulas o células fotovoltaicas: La conversión directa de luz en electricidad a nivel atómico se llama generación fotovoltaica. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico, que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. Cuando se captura a estos electrones libres emitidos, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como energía para alimentar circuitos. Esta misma energía se puede utilizar, obviamente, para producir la detección y medición de la luz.

Fotodiodos: El fotodiodo es un diodo semiconductor, construido con una unión PN, como muchos otros diodos que se utilizan en diversas aplicaciones, pero en este caso el semiconductor está expuesto a la luz a través de una cobertura cristalina y a veces en forma de lente, y por su diseño y construcción será especialmente sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja. Todos los semiconductores tienen esta sensibilidad a la luz, aunque en el caso de los fotodiodos, diseñados específicamente para esto, la construcción está orientada a lograr que esta sensibilidad sea máxima.

Fototransistores: Los fototransistores no son muy diferentes de un transistor normal, es decir, están compuestos por el mismo material semiconductor, tienen dos uniones y las mismas tres conexiones externas: colector, base y emisor. Por supuesto, siendo un elemento sensible a la luz, la primera diferencia evidente es en su cápsula, que posee una ventana o es totalmente transparente, para dejar que la luz ingrese hasta las uniones de la pastilla semiconductora y produzca el efecto fotoeléctrico.

3.2.6.5 Biométricas [6-8, 28, P.7]

La biometría es el estudio de métodos automáticos para el reconocimiento único de personas basados en uno o más rasgos conductuales (algo “que hacemos”) o físicos intrínsecos (algo “que somos”).

En las tecnologías de la información, la autenticación biométrica se refiere a las tecnologías para medir y analizar las características físicas y del comportamiento humanas con propósito de autenticación.

El proceso es casi siempre el mismo: obtención del rasgo físico (imagen), análisis de los detalles característicos y obtención mediante un algoritmo del modelo biométrico o “template” que ya es un dato digital (un número, una “matrícula”) más o menos extenso.

Para el primer paso, la obtención del rasgo físico, existe una amplia gama de sensores y elementos de detección en función de si el rasgo característico que queremos obtener es la imagen de la huella del dedo, la cara, la geometría de la mano, el iris del ojo, etc... Algunos ejemplos de dispositivos de detección y medida biométrica:

Biometría de la huella dactilar:

Sensor de campo eléctrico: Esta tecnología crea un campo entre el dedo y el semiconductor adyacente que simula la forma de los surcos y crestas de la superficie epidérmica.

Sensor capacitivo: El método capacitivo genera una imagen de las crestas y valles de la huella en la superficie de un circuito integrado de silicona.

Sensor térmico: El sensor térmico utiliza un sistema único para reproducir la imagen del dedo completo “deslizándolo” sobre sensor. Durante este movimiento se realizan tomas sucesivas de temperatura y se pone en marcha un software especial que reconstruye la imagen del dedo, gracias a las diferencias de temperatura entre las crestas y los valles de los surcos que forman los pliegues de la huella.

Sensor óptico: Los sensores ópticos se basan en una extracción de puntos de la imagen que se genera de la huella.

Biometría de la mano:

Características vasculares: Consta de un escáner que captura una imagen del tramado de las venas de la palma de la mano a través del reflejo de ondas de frecuencia corta (casi infrarrojos).

Características geométricas: Unas cámaras toman una imagen superior y otra lateral, de las que se extraen ciertos datos (anchura, longitud, área, determinadas distancias...) en un formato de tres dimensiones. Modelo que se contrasta con una base de datos para permitir o denegar el acceso.

Biometría del ojo:

Detección del iris: Este tipo de reconocimiento biométrico consiste en identificar a los usuarios mediante una cámara que captura los distintos detalles que contiene el iris de usuario

Biometría de la cara:

Detección de rasgos faciales: El reconocimiento facial es un sistema biométrico que realiza, mediante la captura de una cámara, un patrón de la cara del usuario. Normalmente las capturas son imágenes en 2 dimensiones, aunque también se comercializan soluciones que permite el reconocimiento en 3 dimensiones.

3.3 Sensores capacitivos

El prototipo que se ha desarrollado se basa en un principio de funcionamiento que se encuadra dentro de la categoría de los sensores capacitivos (clasificación de sensores según parámetro variable).

Convierten un cambio de la magnitud a medir en un cambio de capacidad. Dado que un condensador consiste básicamente en dos electrodos separados por un dieléctrico, el cambio de capacidad puede ocasionarse por el movimiento de uno de los electrodos, acercándose o alejándose del otro electrodo o mediante cambios en el dieléctrico situado entre los dos electrodos fijos.

3.3.1 Capacitancia y condensadores [1-3, 9-12, 14-18]

Los condensadores se pueden definir como dispositivos capaces de almacenar carga. Se utilizan en una gran variedad de circuitos eléctricos (sintonizar frecuencia en radio receptores, filtros en fuentes de poder, eliminar el chisporroteo en sistemas de ignición de automóviles...). Son dispositivos que únicamente constan de dos conductores que poseen cargas iguales pero de signo opuesto.

Al aplicar una diferencia de potencial entre las dos placas, se acumulan electrones de una de las placas y desaparecen en la otra, de manera que la carga en cada instante que tienen las placas, es igual y de signo contrario.

La capacidad o capacitancia eléctrica es la propiedad que tienen los cuerpos de almacenar carga eléctrica. Genéricamente, la capacitancia C de un condensador también se puede definir como la relación de la cantidad de carga en cualquiera de los conductores con la diferencia de potencial existente entre ellos: $C = Q / V$

La capacitancia es siempre un valor positivo, además de ser un valor fijo y constante para un condensador dado. Es decir, la cantidad de carga almacenada aumenta paralela al aumento de diferencia de potencial al que se somete al elemento. Este valor es representativo de la capacidad de almacenar carga y, consecuentemente, energía potencial.

La unidad de medida en el SI de este parámetro, según la ecuación dada, es el Culombio / Voltio. En honor a Michael Faraday, la unidad es el faradio (F). En la práctica se emplean fracciones de faradio para las medidas (microfaradio, nanofaradio y picofaradio), ya que esta unidad es muy elevada en comparación con los valores normales que se emplean.

La capacitancia no es un valor fijo, además de variar con la diferencia de potencial y la carga, está sometida a otros factores, como la geometría de los conductores del condensador, como ahora se demuestra.

3.3.1.1 Cálculo de la capacitancia [1-3, 9-12, 14-18]

La capacitancia de un par de conductores cargados con cargas opuestas puede ser calculado de la siguiente manera: se supone una carga Q y se

determina la diferencia de potencial, siendo la capacitancia $C = Q/V$. Este cálculo es muy simple si la geometría del condensador es sencilla.

Para analizar el efecto de la geometría del condensador sobre la capacitancia de éste, suponemos tres ejemplos muy comunes: dos placas paralelas, dos cilindros concéntricos y dos esferas concéntricas.

Condensador de placas paralelas

En la práctica, las placas pueden ser laminas metálicas muy finas, separadas y aisladas una de otra por una lamina delgada de plástico (u otro material), conjunto que se suele arrollar para ahorrar espacio.

Dos placas paralelas de igual área A y separadas una distancia d , tienen carga $+Q$ en una placa y $-Q$ en la otra. Si las placas están muy cercanas una de la otra (comparado con su área), se pueden desprestigiar los efectos de los extremos y suponer que el campo eléctrico es uniforme entre las placas y cero en cualquier otro lugar.

Realizando los cálculos correspondientes, llegamos a:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

Esto significa que la capacitancia de un condensador de placas paralelas es proporcional al área de estas e inversamente proporcional a la separación entre ellas.

Se puede deducir de la expresión de la capacitancia, que la cantidad de carga almacenada para una diferencia de potencial dada aumenta al aumentar su capacidad. Por consiguiente, más carga debería almacenar un condensador cuanta mayor superficie tuvieran sus placas. Sin embargo, la cantidad de carga necesaria para producir una diferencia de potencial dada aumenta cuando decrece la separación entre las placas.

Es necesario tener presente que las líneas de campo eléctrico en un condensador de placas paralelas son uniformes en la región central entre las placas, pero no es así en los extremos, el cual ya no es totalmente uniforme.

Condensador cilíndrico

Se trata de un conductor cilíndrico de radio a y carga $+Q$, el cual está concéntrico con una corteza cilíndrica de radio b y carga $-Q$, ambos de longitud l . En este caso, el campo eléctrico es perpendicular al eje de los cilindros y está confinado a la región entre ellos.

Realizando el cálculo correspondiente, llegamos a:

$$C = \frac{2\pi l \epsilon}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

El resultado que se obtiene es lógico, ya que la capacitancia es proporcional a la longitud de los cilindros, lo cual tiene sentido. Así como también, la capacitancia depende de los radios de los conductores cilíndricos.

Como ejemplo, se puede considerar un cable coaxial, que consta de dos conductores cilíndricos concéntricos de radios a y b , separados por un material aislante. El cable lleva corriente en sentidos opuestos en los conductores interior y exterior. Una geometría de este tipo es especialmente útil para proteger una señal eléctrica contra influencias externas.

Condensador esférico

Este modelo de condensador consta de un cascarón esférico conductor de radio b y carga $-Q$ concéntrico con una esfera conductora más pequeña de radio a y carga $+Q$.

En este caso, el campo eléctrico en el exterior de una carga simétricamente esférica es radial y hacia fuera si la esfera interior está positivamente cargada, y hacia adentro si está cargada negativamente.

Realizando los cálculos matemáticos correspondientes, llegamos a:

$$C = 4\pi\epsilon\left(\frac{ab}{b-a}\right)$$

3.3.1.2 Energía almacenada en un condensador cargado [1-3,9-12, 14-18]

La energía almacenada en un condensador cargado se puede determinar al calcular la cantidad de trabajo necesario para llevar una carga dq de una placa a la otra. Cuando esto ocurre, una de las placas del condensador tiene una carga $+dq$ y la otra $-dq$, y este trabajo lo realiza una batería.

Si suponemos que en cierto instante la carga del condensador es q , la diferencia de potencial es V , entonces,

$$C = \frac{q}{V}$$

donde C es la capacidad del condensador.

El trabajo dW que se requiere para transportar un elemento de carga adicional dq es:

$$dW = Vdq = \frac{q}{C} dq$$

El trabajo total requerido para cargar el condensador desde una carga cero hasta un valor final Q es:

$$W = \int_0^Q dW = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{Q^2}{2C}$$

Este trabajo realizado puede ser considerado como la energía potencial U almacenada en el condensador. Sustituyendo $Q = CV$, la energía potencial U se puede expresar de la siguiente forma:

$$U = \frac{1}{2} CV^2$$

Este resultado es independiente de la geometría del condensador. La energía almacenada aumenta al aumentar C , así como cuando aumenta V . En la práctica hay un límite de carga que puede ser almacenada, debido a que, esencialmente, es muy posible una descarga eléctrica cuando V alcanza valores muy altos. Este es el motivo de que los condensadores se etiqueten usualmente con el máximo voltaje de operación.

La energía almacenada puede ser considerada almacenada en el campo eléctrico creado entre las placas cuando el condensador está cargado, siendo esta descripción razonable ya que el campo es proporcional a la carga en el condensador.

3.3.1.3 Consideraciones respecto a sensores capacitivos [5-8]

Entre otras cuestiones, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El aislamiento entre placas debe ser alto y constante. Si, por ejemplo, en caso de humedad variable aparecieran resistencias parasitas en paralelo con C por variar el aislamiento ofrecido por el dieléctrico, se tendrían variaciones en la impedancia del condensador no atribuibles a un cambio de capacidad. Si la medida es sensible solo al modulo de la impedancia, pero no a su fase, los errores pueden ser importantes.
- Debido a que solo una de las dos placas puede conectarse a tierra, las interferencias capacitivas son otra fuente de error a tener en cuenta.
- Los cables de conexión son otra fuente de errores. Al ser apantallados para evitar las interferencias capacitivas, añaden una capacidad en paralelo con el condensador, por lo que se pierde sensibilidad pues la magnitud a medir hará cambiar solo la capacidad del sensor, que es ahora una parte de la capacidad total.⁷
- Estos sensores no son lineales. Su linealidad depende del parámetro que varia y de si se mide la impedancia o la admitancia del condensador.
- Tienen una alta impedancia de salida. Una solución es poner la electrónica de acondicionamiento de señal cerca. Otra es emplear un transformador de impedancias. También se puede medir la corriente a través del condensador en vez de la tensión en bornes de este, con lo que la exigencia de una impedancia de entrada alta desaparece.

Las ventajas de este tipo de sensores, entre otras, son las siguientes:

- Como sensores de desplazamiento tienen un error por carga mecánica mínimo. Al no haber contacto mecánico directo (caso de los potenciométricos) no hay errores de fricción ni de histéresis, además de requerirse una fuerza mínima para desplazar el elemento móvil.
- La estabilidad y la reproducibilidad son muy elevadas, pues al no depender C de las propiedades (conductividad) de las placas, no afectan en este sentido los cambios de temperatura, ni hay envejecimiento ni

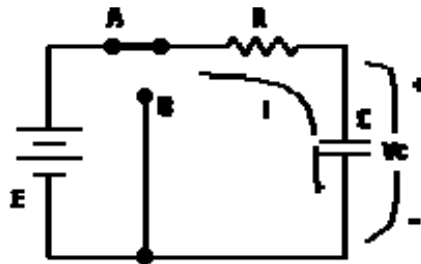
derivas temporales. Por el contrario, la dilatación térmica de las placas si que afecta.

- Son sensores con una resolución muy alta en las medidas.
- No producen campos magnéticos o eléctricos grandes. Esto es una ventaja importante frente a los sensores inductivos, que pueden producir campos magnéticos de dispersión intensos.

3.3.2 Carga y descarga de un condensador [1-3, 9-12, 14-18]

A continuación se muestra un ejemplo de carga y descarga de un dispositivo condensador.

Proceso de carga:



Cuando el interruptor se mueve a A, la corriente I sube bruscamente (similar a un cortocircuito) y tiene el valor de $I = E / R$ amperios (como si el condensador no existiera momentáneamente en este circuito serie RC), y poco a poco esta corriente va disminuyendo hasta tener un valor de cero (ver el diagrama inferior).

El voltaje en el condensador no varía instantáneamente y sube desde 0 voltios hasta E voltios (E es el valor de la fuente de corriente directa conectado en serie con R y C , ver diagrama 1).

El tiempo que tarda el voltaje en el condensador (V_C) en pasar de 0 voltios hasta el 63.2 % del voltaje de la fuente está dado por la fórmula $T = R \times C$, donde R está en ohmios, C en milifaradios, y el resultado en milisegundos.

Después de $5 \times T$ (5 veces T) el voltaje ha subido hasta un 99.3 % de su valor final (al valor de T se le llama "Constante de tiempo").

Analizando los dos gráficos, se puede ver que están divididos en una zona transitoria y una zona estable. Los valores de I_C y V_C varían sus valores en la

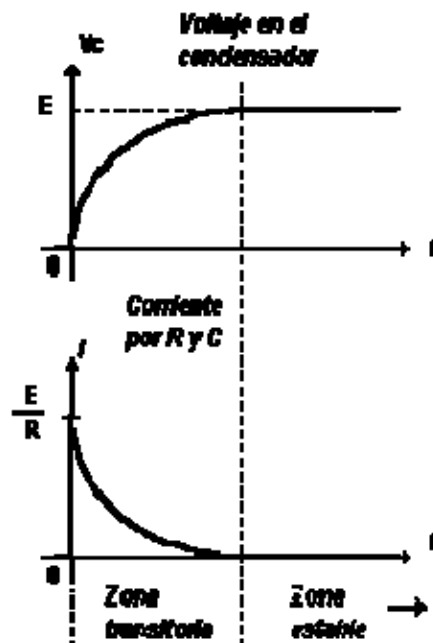
zona transitoria (aproximadamente 5 veces la constante de tiempo T), pero no así en la parte estable.

Los valores de V_C e I_C en cualquier momento se pueden obtener con las siguientes fórmulas:

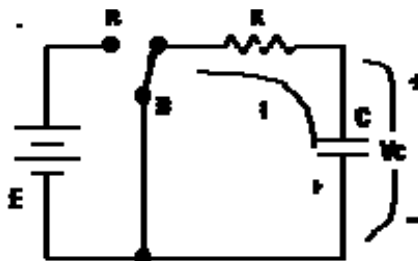
$$V_C = E + (V_0 - E)e^{-t/T}$$

V_0 es el voltaje inicial del condensador (en muchos casos es 0 Voltios)

$$I_C = \frac{E - V_C}{R} = \frac{(E - V_0)e^{-t/T}}{R}$$



Proceso de descarga:



El interruptor está en B.

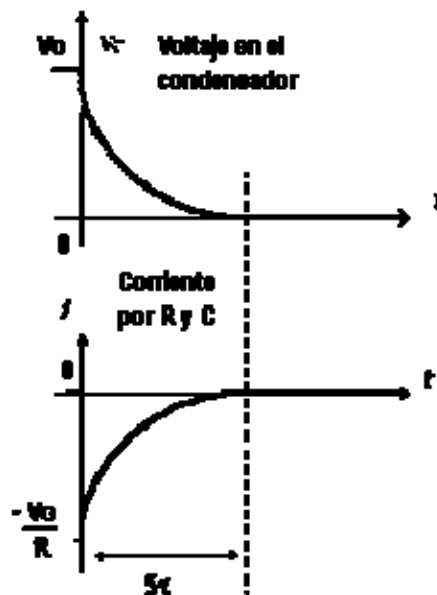
Entonces el voltaje en el condensador V_C empezará a descender desde V_0 (voltaje inicial en el condensador). La corriente tendrá un valor inicial de V_0 / R y disminuirá hasta llegar a 0 (cero voltios).

Los valores de V_C e I en cualquier momento se pueden obtener con las siguientes fórmulas:

$$V_C = V_0 e^{-t/T} \quad I = \frac{-V_0}{R} e^{-t/T}$$

Donde: $T = RC$ es la constante de tiempo

NOTA: Si el condensador había sido previamente cargado hasta un valor E , hay que reemplazar V_0 en las fórmulas con E



3.3.3 Material dieléctrico [1-3, 9-12, 14-18]

Un dieléctrico es un material no conductor, como el caucho, vidrio o papel, entre otros. Cuando un dieléctrico se introduce entre las placas de un condensador, la capacitancia aumenta. Si el dieléctrico llena por completo el espacio entre las placas, la capacitancia aumenta en un factor adimensional k característico de cada material, llamado constante dieléctrica.

Si se introduce un material dieléctrico en un condensador y se mide con un voltímetro la diferencia de potencial antes y después de introducir el material entre las placas, se observa una disminución en la diferencia de potencial.

Como la carga Q no cambia, se concluye que lo que varía es la capacitancia. Esto es:

$$C = kC_0$$

Donde C_0 es la capacitancia en ausencia de dieléctrico. La capacitancia aumenta en el factor k solo cuando el material dieléctrico ocupa completamente la región entre sus placas. El aumento de capacidad es progresivo según el material ocupa dicha región.

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Para un condensador de placas paralelas, donde

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

la capacitancia cuando el condensador está lleno con un dieléctrico se puede expresar así:

$$C = k \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

De esta ecuación se puede deducir que la capacitancia puede alcanzar valores muy altos sin más que añadir un dieléctrico con constante dieléctrica alta. La mayoría de los materiales tiene una constante dieléctrica muy elevada en comparación con el aire (aire = 3000000 V/m).

Se puede concluir que un dieléctrico tiene las siguientes ventajas:

- Un dieléctrico aumenta la capacitancia de un condensador
- Aumenta el voltaje de operación de un condensador
- Proporciona una estructura mecánica de soporte entre las placas conductoras

3.3.4 Tipos de condensadores [1-3, 9-12, 14-18]

La mayor parte de los condensadores comerciales se fabrican con dos hojas metálicas con placas delgadas de papel impregnadas de parafina, la cual sirve como material dieléctrico. Se colocan alternadas las hojas metálicas y

dieléctricas y entonces se enrollan dando la forma de un cilindro que forma un pequeño paquete.

Los condensadores de alto voltaje comúnmente constan de un número de placas alternadas inmersas en aceite de silicona. Los condensadores pequeños son a veces fabricados con materiales cerámicos.

Los condensadores variables (10 a 500 picofaradios) generalmente constan de dos conjuntos de placas alternadas, uno fijo y otro móvil, con aire como dieléctrico.

Los condensadores electrolíticos son a veces empleados para almacenar grandes cantidades de carga a voltajes relativamente bajos. Este dispositivo, consta de una hoja de metal en contacto con un electrolito (solución que conduce la electricidad en función del movimiento de los iones contenidos en la solución). Cuando un voltaje se aplica entre la hojas y el electrolito, una capa delgada de óxido metálico (un aislante) se forma sobre la hoja metálica, y esta capa sirve como el dieléctrico. Se pueden obtener grandes valores de capacitancia ya que la capa de dieléctrico (separación entre placas) es muy delgada.

3.3.5 Combinación de condensadores [1-2, 9-12, 14-18]

Las dos combinaciones posibles de estos dispositivos son en serie o en paralelo.

Combinación en paralelo

La diferencia de potencial a través de cada condensador en un circuito en paralelo es la misma. Para obtener la capacidad equivalente que debería tener un condensador para sustituir a los dispuestos en el circuito, debemos tener en cuenta que se encuentran conexiados en paralelo.

El voltaje del condensador de sustitución también sería V , por lo que:

$$Q_1 = C_1 V ; \quad Q_2 = C_2 V$$

y para el condensador equivalente $Q = C_{eq} V$

Entonces tenemos $C_{eq} V = C_1 V + C_2 V$

de donde obtenemos la relación directa de capacidades $C_{eq} = C_1 + C_2$

o, en el caso de conexionar varios condensadores

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots C_N$$

Por tanto la capacidad equivalente de una combinación en paralelo de condensadores es mayor que cualquiera de las capacidades individuales.

Combinación en serie

Para combinaciones de condensadores en serie, la magnitud de la carga debe ser la misma en todas las placas.

En una combinación en serie, la intensidad permanece constante y el voltaje es igual a la suma de los voltajes parciales. En consecuencia, se deduce que:

$$V = V_1 + V_2$$

siendo V_1 y V_2 las diferencias de potenciales a través de los condensadores. En general, la diferencia de potencial a través de cualquier número de condensadores en serie es igual a la suma de las diferencias de potencial a través de cada condensador individual. La diferencia de potencial de cada condensador viene dada por:

$$V_1 = Q / C_1 \quad ; \quad V_2 = Q / C_2$$

Sustituyendo $Q / C_{eq} = Q / C_1 + Q / C_2$

con lo que llegamos a la conclusión de que $1 / C_{eq} = 1 / C_1 + 1 / C_2$

y con más de dos condensadores,

$$1 / C_{eq} = 1 / C_1 + 1 / C_2 + 1 / C_3 + \dots 1 / C_N$$

Por tanto la capacidad equivalente de una combinación en serie de condensadores es menor que cualquiera de las capacidades individuales.

4 Planteamiento metodológico y estructura del trabajo

4.1 Metodología

Para la construcción de este sensor, todo el trabajo se ha realizado en el laboratorio de sensores y actuadores, por lo que se realizó un plan de tareas para una correcta organización.

- a) Manejo y acercamiento a equipos
- b) Adquisición de material
- c) Construcción del sensor
- d) Montaje del equipo de ensayos
- e) Toma de datos
- f) Análisis de los resultados
- g) Conclusiones

Cada una de estos apartados está formado por varios sub-trabajos, los cuales se desarrollan con más detalle en el apartado de estructura.

4.2 Estructura

- a) Manejo de equipos
 - a. Osciloscopio
 - b. Fuente de alimentación
 - c. Voltímetro / Amperímetro
 - d. Sondas de temperatura: termopar
 - e. Placa de inserción
- b) Adquisición de material
 - a. Material de fontanería
 - b. Material electrónico

- c. Material complementario
- c) Construcción del sensor
 - a. Construcción del condensador específico
 - b. Construcción del tubo de PVC para ensayos
 - c. Construcción de la guía para las sondas de temperatura
 - d. Construcción de las maderas soporte de la guía
 - e. Funcionamiento y componentes
- d) Montaje del equipo de ensayos
 - a. Incorporación de las sondas de temperatura a la guía
 - b. Colocación de la guía en el tubo de ensayos
 - c. Conexión del condensador al circuito electrónico y al tubo de ensayos
 - d. Colocación correcta en el laboratorio de los equipos (osciloscopio, termopar, congelador, sensor, etc.).
- e) Toma de datos
 - a. Ciclos de congelación y descongelación, tomando 10 datos de frecuencias en cada grado centígrado.
- f) Análisis de los resultados y conclusiones
 - a. Explicación de los resultados anómalos y de lo ocurrido en los diferentes ciclos.

5 Desarrollo del trabajo

El primer paso para realizar este proyecto es conocer las características, propiedades y funcionamiento de los diversos componentes y equipos que se deben emplear.

Los principales elementos a conocer son: osciloscopio, fuente de alimentación, voltímetro / amperímetro, sondas de temperatura y placas de inserción. A continuación se explican con más detalle.

Osciloscopio

Se trata de un elemento de medición electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo. Se obtienen imágenes que muestran la señal eléctrica que se está midiendo, generalmente en 2 dimensiones (X e Y), aunque también existe una tercera dimensión posible (Z), que tiene la función de controlar la luminosidad del haz, resaltando unas partes de la señal u otras.

Para mostrar la imagen, se emplea un tubo de rayos catódicos. Este elemento consiste en un cátodo de caldeo, alrededor del cual se forma una nube de electrones por efecto termoeléctrico. Después, mediante la disposición correcta de rejillas de control y ánodos de aceleración, se consigue acelerar los electrones. Tras esto, los electrones atraviesan dos pares de placas deflectoras que desvían el haz, consiguiéndose los ángulos deseados para la proyección en la imagen. Una vez el haz lleva la dirección adecuada, choca contra la pantalla, la cual está recubierta con una sustancia fosforosa, la cual destella visiblemente cuando incide sobre ella un haz de electrones. Este es, básicamente, el funcionamiento de un osciloscopio.

La imagen que se obtiene con el osciloscopio de la señal eléctrica se llama oscilograma.

En estos dispositivos, básicamente existen 2 controladores que son empleados como reguladores de entrada y que permiten medir en la pantalla, mostrándose consecuentemente el oscilograma.

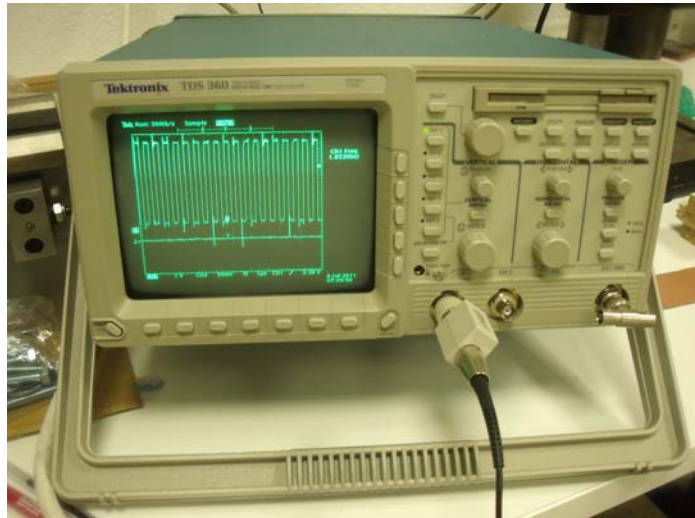


Figura XX: Osciloscopio empleado en las mediciones y ensayos

El primer control regula el eje X (horizontal) y aprecia fracciones de tiempo (segundos, milisegundos, microsegundos, etc., según la resolución del dispositivo). El segundo regula el eje Y (vertical) controlando la tensión de entrada (en Voltios, milivoltios, microvoltios, etc., dependiendo de la resolución del aparato). Con estos controles se puede conocer el valor de la señal de entrada, tanto el valor de su tensión como el de su frecuencia.

En la actualidad existen osciloscopios analógicos, digitales y combinación de ambos tipos. La diferencia entre los analógicos y digitales son pocas, salvo que los analógicos tienen más limitaciones, entre otras que la señal debe ser periódica y que no se aprecian correctamente las señales muy rápidas o lentas. El modelo digital, además de solventar estos problemas, permite volcar directamente las medidas en un ordenador o pantalla LCD, pero además:

- Mide automáticamente los valores máximos y mínimos de la señal (Valor eficaz)
- Captura de transitorios
- Medida de flancos de la señal

El empleado en este trabajo es digital, más concretamente el modelo TDS 360, de dos canales, de la marca Tektronix. El parámetro 360 indica la frecuencia de muestreo, que en este caso son 360 MS/s.

Fuente de alimentación

Se trata de un dispositivo que convierte la tensión alterna, en una o varias tensiones, prácticamente continuas, que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta

Se pueden clasificar principalmente en dos tipos: lineales y conmutadas. Las lineales son más sencillas, pero también tienen menor precisión. Sin embargo, las conmutadas son más complejas, tienen más precisión y, por el contrario, son más susceptibles a averías.

En una fuente de alimentación, es preciso tener en cuenta tanto su rendimiento como su factor de potencia, ambos indicadores de la calidad de la señal de salida. El rendimiento se define como la potencia total de salida entre la potencia activa de entrada. El factor de potencia se define como la potencia activa entre la potencia aparente de entrada. Estos parámetros son mayores en las fuentes conmutadas.



Figura XX: Fuente de alimentación

Voltímetro / Amperímetro (Multímetro)

Se trata de un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y potenciales (tensiones) o pasivas como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna y en varios márgenes de medida cada una.

Para que el polímetro trabaje como voltímetro es preciso conectar una resistencia R_v en paralelo con el instrumento de medida. El valor de R_v depende del valor en voltios que se quiera alcanzar cuando la aguja alcance el fondo de escala. En el polímetro aparecerán tantas resistencias R_v conmutables como valores diferentes de fondos de escala se precise tener. Por ejemplo, en el caso de requerir 10 voltios, 20 voltios, 50 voltios y 200 voltios, existirán cuatro resistencias diferentes R_v .

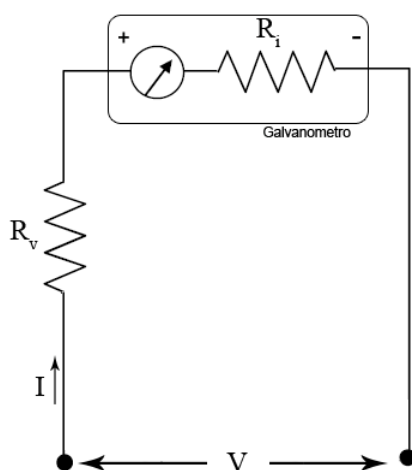


Figura XX: Esquema de un voltímetro

Para que el polímetro trabaje como amperímetro es preciso conectar una resistencia R_s en serie con el instrumento de medida (vínculo). El valor de R_s depende del valor en amperios que se quiera alcanzar cuando la aguja alcance el fondo de escala. En el polímetro aparecerán tantas resistencias R_s conmutables como valores diferentes de fondos de escala se quieran tener. Por ejemplo, si se necesitan escalas de 10 miliamperios, 100 miliamperios y 1 amperio y de acuerdo con las características internas el instrumento de medida (vínculo), aparecerán tres resistencias R_s conmutables.

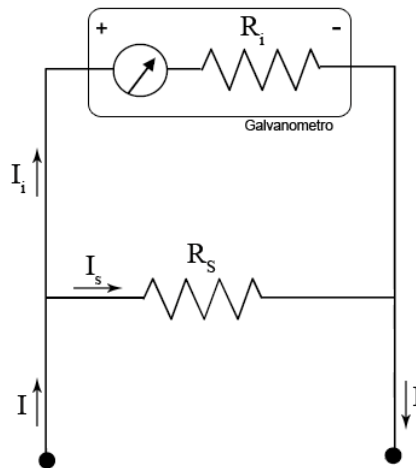


Figura XX: Esquema de un amperímetro

El óhmetro permite medir resistencias. Una pila interna hace circular una corriente a través de la resistencia a medir, el instrumento y una resistencia adicional de ajuste. Cuando los terminales de medida se ponen en cortocircuito circula la máxima corriente por el galvanómetro. Es el valor de corriente que se asocia a $R = 0$. Con la resistencia de ajuste se retoca esa corriente hasta que coincida con el fondo de escala y en la división que indica la corriente máxima se pone el valor de 0 ohmios. Cuando en los terminales se conecta la resistencia que se desea medir, se provoca una caída de tensión y la aguja se desplaza hacia valores inferiores de corriente, esto es, hacia la izquierda. La escala de resistencias crecerá, por lo tanto, de derecha a izquierda.

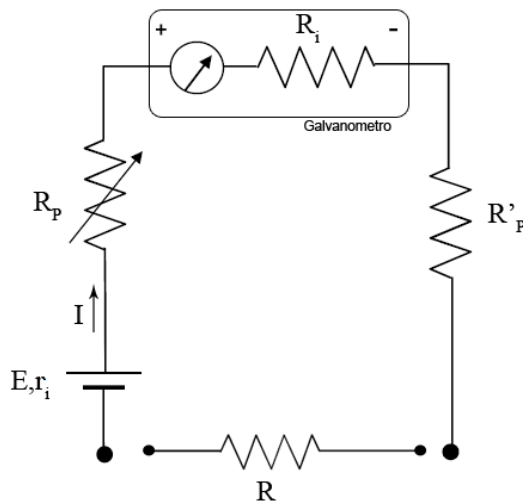


Figura XX: Esquema de un óhmetro



Figura XX: Un multímetro como el empleado en las mediciones y ensayos

El multímetro empleado en este trabajo es digital, no analógico.

Sondas de temperatura: termopar

Un termopar es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.



Figura XX: Termopar y sondas empleadas en el trabajo

Placa de inserción

Es una placa que normalmente es usada para construir prototipos de circuitos electrónicos con o sin soldadura. Normalmente se utilizan para la realización de pruebas experimentales. Existen varios tipos de placas, que se pueden clasificar principalmente en dos:

- Temporales (Protoboard): Está compuesta por bloques de plástico perforados y numerosas láminas delgadas, de una aleación de cobre, estaño y fósforo, que unen dichas perforaciones, creando una serie de líneas de conducción paralelas. Las líneas se cortan en la parte central del bloque de plástico para garantizar que dispositivos en circuitos integrados tipo DIP (Dual Inline Packages) puedan ser insertados perpendicularmente a las líneas de conductores.

- Permanentes: Dentro de estas, existen dos tipos dominantes, que son:

- Perfboard: Placa de circuito perforada cuyos huecos están circundados por material conductor, usualmente cobre, pero que no están interconectados entre sí. Este tipo de placas requieren que cada componente esté soldado a la placa.
- Stripboard: Es un tipo especial de perfboard con patrón, en donde los agujeros están interconectados formando filas de material conductor. Este es el tipo de placa empleado en la construcción del sensor.

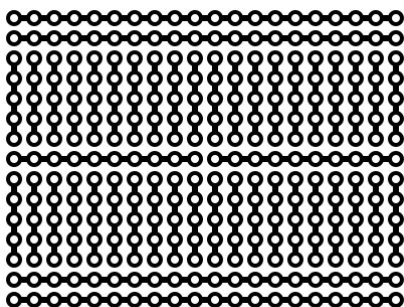


Figura XX: Esquema placa Protoboard



Figura XX: Placa Stripboard

Una vez aprendido el funcionamiento básico y las características de los componentes a utilizar en el trabajo, se procedió al abastecimiento del material necesario para la realización del prototipo que se ha desarrollado, así como del resto de elementos complementarios.

El material adquirido se puede dividir en tres grandes secciones:

- MATERIAL ELECTRÓNICO

- *Condensadores electrolíticos*
- *Puente de diodos*
- *Transformador*
- *Condensadores cerámicos*
- *Circuito integrado (74 HC, puertas inversoras)*
- *Placa de circuito impreso*
- *Elementos de wire-wrapping*

- MATERIAL DE FONTANERÍA

- *Tubo de ensayos de PVC de 40 mm de diámetro (exterior)*
- *Tapas y manguitos de PVC*
- *Cinta americana*
- *Pegamento especial para tuberías de PVC*

- MATERIAL COMPLEMENTARIO

- *Maderas soporte de las placas del condensador*
- *Guía para las sondas de temperatura*
- *Celofán*
- *Maderas soporte de la guía para las sondas de temperatura*
- *Congelador*
- *Herramientas mecánicas (serrucho, limas, lijas, etc.)*

La totalidad de los componentes electrónicos necesarios para el prototipo del sensor, se han obtenido del material disponible en el laboratorio de sensores y actuadores y el laboratorio de física de la EUATM. El material de fontanería se adquirió en “Suministros y saneamientos Vega”, en Madrid. El material complementario también se obtuvo del disponible en el laboratorio de física y de sensores y actuadores de la EUATM.

Una vez que se dispuso de los materiales necesarios, se procedió a la construcción de los diversos componentes. En base a su importancia, el proceso de construcción fue el que sigue.

En primer lugar, se procedió a la construcción y montaje del tubo de ensayos que simularía la sección de tubería correspondiente a las conducciones de fontanería. El tubo tiene una longitud de 33 cm y un diámetro de 40 mm (diámetro exterior).

En cada extremo del tubo (abierto) se disponen dos manguitos, y en uno de los extremos se coloca una tapa roscada con junta de goma, para garantizar la estanqueidad. En la parte superior (extremo sin tapa) se coloca cinta americana para reforzar la unión y evitar posibles fugas.

El método de unión es mediante pegamento especial para PVC, previa limpieza exhaustiva de la superficie para garantizar una correcta unión.

Antes de proseguir con la construcción del resto de elementos, se comprueba que los ensayos son viables respecto a espacio en el congelador, ya que debido a la naturaleza de las mediciones el tubo de PVC debe encontrarse de pie. Como se observa en las fotografías, es perfectamente viable.



Figuras XX y XX: Tubo de ensayos de PVC



Figuras XX y XX: Comprobación de dimensiones en el congelador

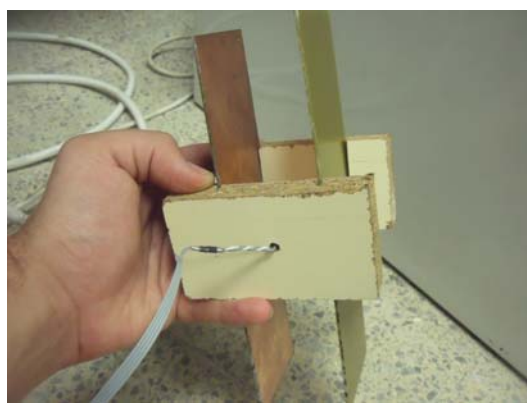
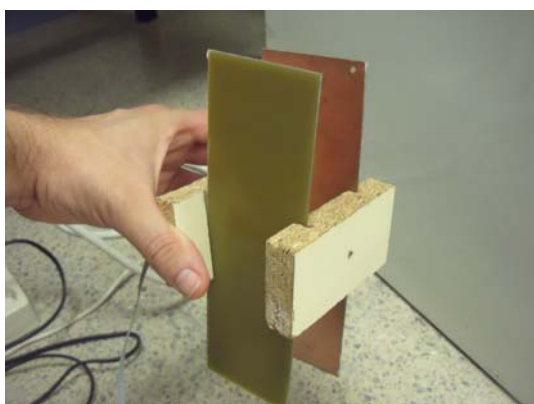
Una vez obtenido la sección de tubería y de comprobar que los ensayos son viables en el congelador que dispone la escuela, se procede a la construcción del condensador específico. Este paso es necesariamente posterior a la construcción del tubo, ya que es preciso conocer las dimensiones del conducto para que el condensador se adapte correctamente.

Lo primero que se realiza es el corte de las dos placas de cobre del condensador, las cuales se obtienen a partir de una lámina de cobre de 1 mm de espesor. Las dos placas se cortan de las mismas dimensiones (ancho x

alto) para que sean lo más paralelas posibles, generando una medición más exacta. El corte se realiza con sierra de mano.

Una vez obtenidas, se procede a la obtención de las maderas soporte de las placas, que son de madera aglomerada, de 2 cm de espesor. A las maderas se les realiza un corte con serrucho en la zona en la que van a encajar las placas de 3 mm de espesor, de modo que la sujeción sea firme.

En una de las maderas soporte, se realiza un agujero de 3 mm de diámetro (aproximado) para poder conducir a través de él los cables que conectan electrónicamente las placas con el circuito sensor.



Figuras XX y XX: Vistas generales del condensador por ambas caras

Una vez que se ha obtenido tanto el tubo como el condensador, se construyó la guía soporte para las sondas de temperatura, las cuales se conectan posteriormente al termopar para el seguimiento térmico del proceso.

Las maderas de soporte de la guía son de aglomerado de 4 mm de espesor, con agujeros en el centro para encajar la guía. La pieza más pequeña se sitúa en el interior de la tapa (extremo inferior del tubo), mientras que la pieza más grande se coloca en la parte superior, haciendo función de tapa, y sujeta con celo, para garantizar la inmovilidad de la guía.

La guía se construye empalmando dos varillas de plástico de 20 cm de longitud y 2,5 mm de espesor, las cuales, como ya se ha mencionado previamente, se encontraban disponibles en el laboratorio de sensores y actuadores de la EUATM. El empalme se realiza con celo, enlazando 1 cm a cada lado del encuentro.

A la guía se le colocan las sondas de temperatura del termopar, que se unen a las varillas mediante un recubrimiento de celo (no influye en la medida de la temperatura), dispuestas a una altura de 8 cm (la inferior) y de 25 cm (la superior).

El motivo de colocar una guía para las sondas de temperatura es que deben estar en el centro del tubo para que la lectura sea lo más exacta posible. Se colocan dos sondas, ya que la temperatura del agua no es totalmente uniforme a diferente altura (sobre todo en el momento del cambio de fase), hallándose de este modo la temperatura media.

Las dos sondas del termopar tienen los extremos soldados y libres de pelos del recubrimiento, lo que genera una lectura exacta.



Figuras XX y XX: Guía para las sondas de temperatura. Vista aérea y detalle.

Una vez terminados todos los componentes complementarios del conjunto, se procede a la construcción del circuito sensor, elemento fundamental y básico de este trabajo. A continuación se amplía la información sobre los principios de funcionamiento en que se basa el sensor y su esquema electrónico.

- Funcionamiento del sensor

El sensor es capacitivo, cuyo condensador constituye la cabeza sensora, por lo que es elemento encargado de detectar las variaciones que den lugar a una respuesta u otra del sistema.

El sensor también se puede clasificar como discreto, ya que no realiza un seguimiento constante de la temperatura del agua, sino que sólo genera dos señales: 1. fluido congelado; 2. fluido no congelado, las cuales varían en función de la frecuencia.

Un condensador es el elemento fundamental de un sensor capacitivo, ya que un condensador es capaz de almacenar carga eléctrica, obteniendo un valor característico denominado “capacidad”, nombre del que deriva la tipología de sensores “capacitivos”.

El principio de funcionamiento de un condensador ya se ha explicado previamente, pero se fundamenta en disponer de un material dieléctrico entre dos placas conductoras que no se están tocando.

Todo condensador sufre un proceso de carga ($V>0$; $I=0$) y de descarga ($V=0$; $I>0$). Cuando se conecta a un oscilador (formado por tres puertas inversoras), se genera una señal de una determinada frecuencia.

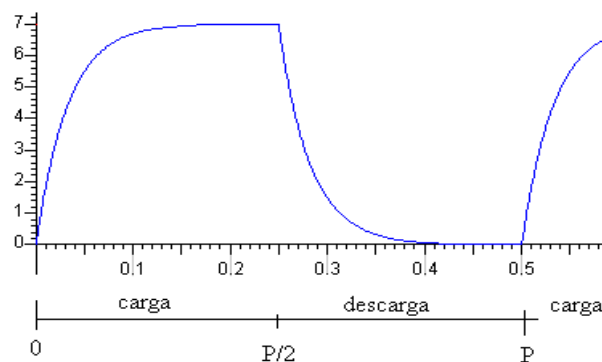


Figura XX. Evolución de la tensión en la carga y descarga de un condensador.

La evolución de la intensidad es inversamente proporcional a la evolución del voltaje en el condensador. Se aprecia en las siguientes figuras.

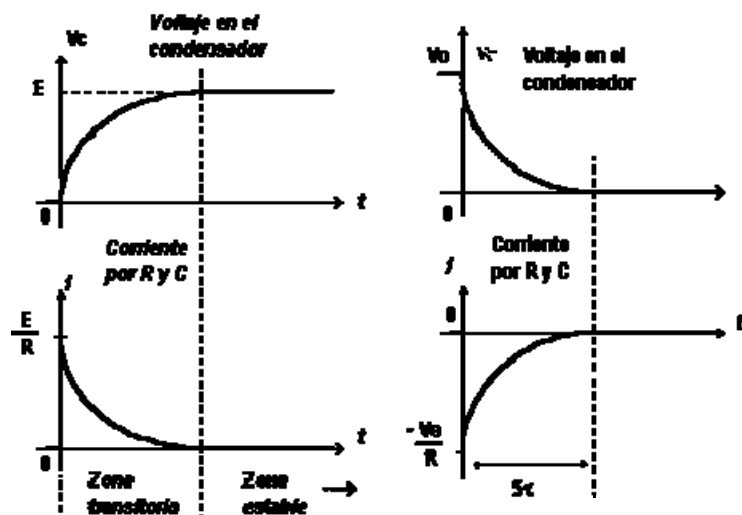


Figura X. Carga de un condensador

Figura X. Descarga de un condensador.

El agua es un material dieléctrico, por lo que al introducirlo entre las dos placas del condensador, se produce un aumento sustancial de la capacitancia, generando una onda característica del agua. Este aumento es proporcional a la permeabilidad dieléctrica del material introducido entre las placas.

Al congelarse el fluido, la permeabilidad dieléctrica del agua varía de forma significativa, por lo que la onda que se genera tiene una frecuencia diferente (frecuencia más baja cuando el agua está congelada).

La forma de detectar el cambio de fase es midiendo la frecuencia de la onda del proceso de carga y descarga del condensador con el circuito integrado de puertas inversoras auto oscilante.

El circuito electrónico auto oscilante elegido esta constituido por 3 puertas inversoras, con un retardo que es un circuito RC, donde la resistencia es el potenciómetro, que se ha puesto para poder ajustar la frecuencia en vacío.

Capacidad dieléctrica del agua líquida = 80

ESQUEMA DEL SENSOR:

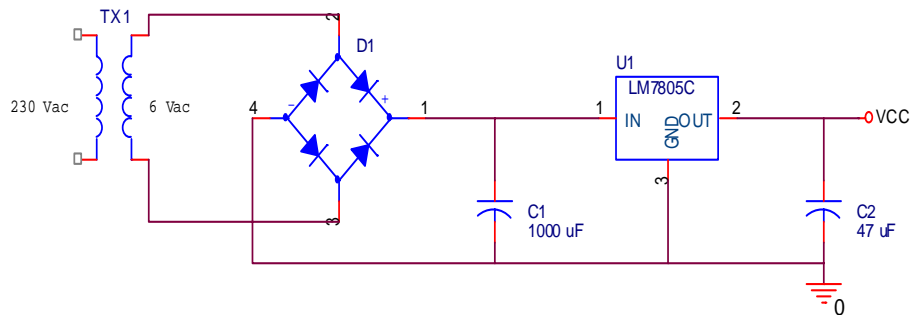


Fig. X. Circuito de alimentación

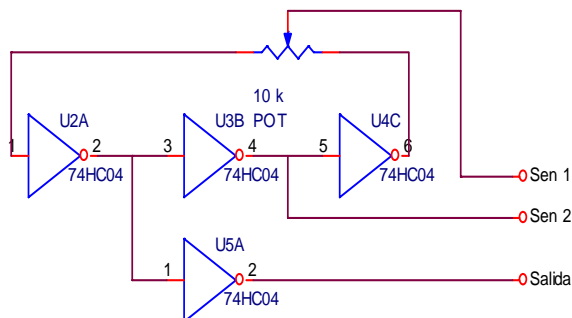


Figura X. Circuito sensor

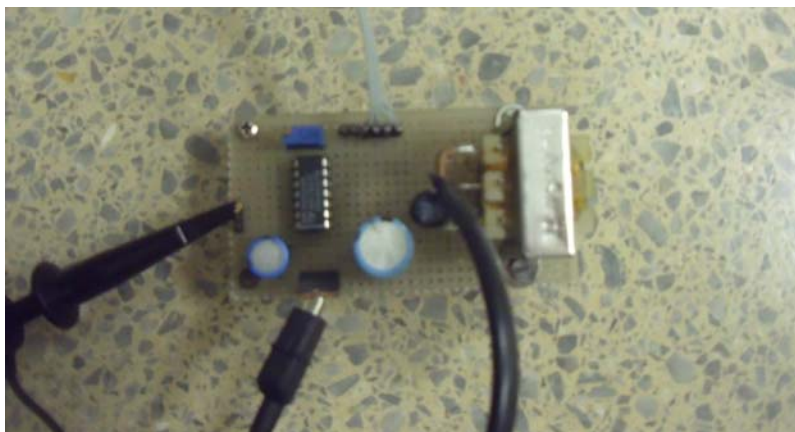


Figura XX: Circuito electrónico del sensor (alimentación y sensor)

Como se puede apreciar en la imagen anterior, la placa sobre la que se inserta el circuito electrónico es del tipo *Stripboard* (ver apartado previo), por lo que sus puntos están interconectados eléctricamente.

Para el montaje de los elementos en la placa de inserción, se ha empleado una técnica muy común en circuitos con este tipo de placas: el wire-wrapping, la cual se explica y amplía a continuación.

- Wire-wrapping

El wire wrapping es la técnica empleada para unir dos puntos con un contacto eléctrico. Es un método de construir una placa de circuito sin necesidad de tener un circuito impreso realizado. Puede ser hecho a mano o mediante una máquina, y puede ser modificado manualmente después.

El wire-wrap puede ser más fiable que los circuitos impresos, debido a que las conexiones son menos propensas a fallar debido a vibración o presión física en la placa, además de que la ausencia de soldadura impide que haya corrosión o juntas secas, etc. Las conexiones son más firmes y tienen menor resistencia eléctrica debida a la unión sin un material como la soldadura.

La construcción del wire-wrap se hizo popular alrededor de 1960 en la construcción de placas de circuitos, y su uso ha decaído abruptamente. La tecnología de montaje superficial y el incremento en la velocidad de conmutación electrónica han hecho que esta técnica sea mucho menos útil que en décadas anteriores. Las placas de circuito sin soldadura y el decreciente costo de los circuitos impresos profesionales han eliminado esta tecnología. A

pesar de ello, ha sido la empleada en la construcción del prototipo de sensor que se ha desarrollado en este trabajo.

Una herramienta de wire-wrap tiene dos orificios. El alambre y un cuarto de pulgada (6.35mm) de cable aislado son colocados en un agujero cerca del final de la herramienta. El agujero en el centro se coloca sobre el poste. Posteriormente, se gira la herramienta rápidamente. Con ello, de 1.5 a 2 vueltas de alambre sin aislar son enrolladas alrededor del poste. Éste tiene lugar para tres conexiones, aunque usualmente sólo dos se necesitan. Esto permite que se haga wire-wrap manual para reparaciones. Se da una vuelta y media para evitar la fatiga del alambre en el punto donde se une con el poste.

Sobre la vuelta de alambre aislado, el alambre sin aislar se enrolla alrededor del poste. Las esquinas del poste ejercen presiones de toneladas por pulgada cuadrada sobre el alambre. Esto obliga a todos los gases a salir del área entre el alambre y el poste. Además, con 28 conexiones de este tipo (siete vueltas en un poste de cuatro esquinas), existe una conexión confiable entre alambre y poste.

Existen tres formas de colocar alambres en una tableta: Wire-wrap manual, semiautomatizado y automatizado.

- *Wire-wrap manual*

Una herramienta de wire-wrap manual se asemeja a un bolígrafo. Es conveniente para reparaciones menores. El wire-wrap es uno de los sistemas más reparables de la electrónica ensamblable. Los postes pueden ser amarrados de nuevo hasta diez veces sin desgastarse considerablemente, provisto que se utilice alambre nuevo cada vez. Los trabajos más grandes son realizados con una "pistola de wire-wrap", que tiene una empuñadura con engranes y resortes para poderse girar rápidamente. Tales herramientas fueron utilizadas en gran medida en centrales telefónicas en Estados Unidos durante el final del Siglo XX, usualmente con un orificio mayor para calibres de alambre 22 o 24 AWG en lugar de los calibres 28 o 30 AWG utilizados en circuitos impresos y backplanes. Los postes más grandes pueden ser enrollados de nuevo cientos de veces. Persistieron en el Siglo XXI en distribution frames donde los conectores de desplazamiento aislante no habían sido implementados.

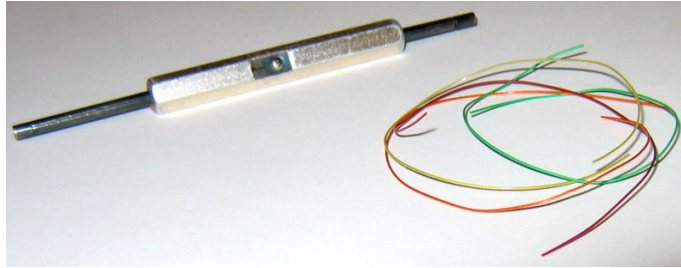


Figura XX: Herramienta para wire-wrap manual

- *Wire-wrap semiautomatizado*

Los sistemas semiautomatizados de wire-wrap colocan "pistolas de wire-wrap" sobre brazos mecánicos que son capaces de moverse en dos dimensiones y están controlados por computadora. Las pistolas son arrastradas hacia abajo manualmente, y se presiona el gatillo para amarrar el alambre. Los alambres se insertan en la pistola manualmente. Este sistema permite al operador colocar alambres sin preocuparse si están en el conector correcto, pues la computadora controla las coordenadas XY.

El sistema de wire-wrap semiautomatizado es único entre los sistemas de fabricación de prototipos, pues puede colocar pares trenzados, permitiendo la realización de sistemas complejos de alta frecuencia y de radar, por ejemplo.

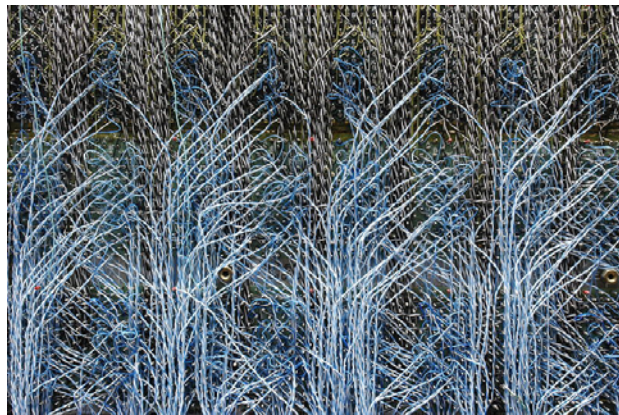


Figura XX: Sistema construido con wire-wrap semiautomatizado

- *Wire-wrap automatizado*

Las máquinas de wire-wrap automatizadas eran construidas por la Gardner Denver Company en los 60's y 70's y eran capaces de rutear, cortar, remover el forro y amarrar alambres en un "backplane" electrónico o un circuito impreso. Las máquinas eran controladas por instrucciones de alambrado codificadas en tarjetas perforadas, cintas perforadas y las primeras microcomputadoras.

Las primeras máquinas fueron configuradas como "horizontales", lo cual significaba que la tableta de wire-wrap estaba colocada al revés (con los conectores hacia arriba) en una bandeja, y posteriormente se enviaba dentro de la máquina y se anclaba en una mesa rotativa de cuatro posiciones (TRP). Dentro de ella, un cabezal se colocaba en el primer punto de amarre y descendía. El gatillo para enrollar el alambre se activaba, tras lo cual el cabezal se levantaba, iba a la siguiente posición, volvía a descender y amarrar, y a menos que se indicara de otra manera, cortaba el cable para realizar la siguiente conexión.

Posteriormente se fabricaron máquinas con configuración "horizontal", lo cual permitía reducir el movimiento del cabezal, esto es, colocando la tableta de frente a éste.

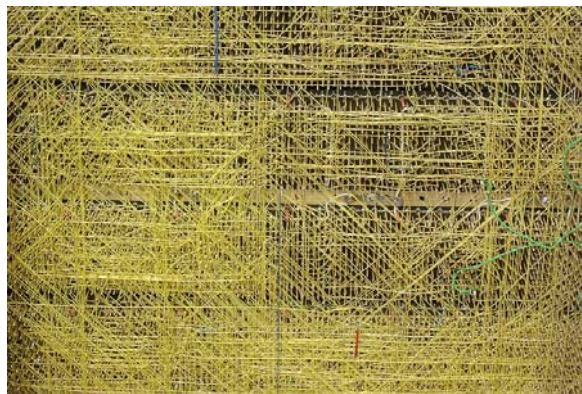


Figura XX: Sistema construido con wire-wrap automatizado

Tras esto, se considera finalizada la parte de construcción de elementos, por lo que ahora es necesario proceder al montaje de todos los componentes en el laboratorio y realizar las mediciones necesarias.

La secuencia lógica que se sigue para el montaje en el laboratorio es la siguiente:

Primero, se desplaza el congelador hasta el laboratorio de sensores y actuadores, lugar donde se van a realizar las mediciones, ya que se encontraba en el laboratorio de física.

Después se introduce la guía con las sondas de temperatura (sin conectar al termopar para que no ejerzan fuerzas laterales y haya riesgo de vuelque) en el tubo de PVC, al cual previamente (en el proceso de construcción) se le ha dejado embebida la madera soporte de la guía en su parte inferior.

En la parte superior de la guía, se ha colocado la otra madera soporte, que es la que hace que la guía se mantenga centrada dentro del tubo, para así obtener mediciones más precisas. Esta madera es la que se fija con celo a las paredes del tubo, consiguiendo una posición firme.

Luego, se coloca el condensador de placas de cobre sobre el tubo, y con la conexión al circuito sensor.

El osciloscopio se coloca sobre el circuito sensor (el cual se encuentra en el suelo debido a que el cable de conexión al condensador es corto), conectándose mediante la sonda adecuada.

Con el resto de elementos conectados, se conectan las sondas de temperatura al termopar.

Con todos los componentes situados en el laboratorio, se realiza una prueba para comprobar la viabilidad del ensayo. El resultado es que se producen unas interferencias muy importantes en el termopar, ya que no es capaz de identificar con precisión la temperatura del agua (en estado líquido y a temperatura ambiente), dando valores totalmente independientes entre las sondas (diferencias mayores de 30°C) y sin estabilidad, ya que no se marcan valores fijos.

Como consecuencia de esto, y al no encontrar la causa, se procede a cambiar de ubicación todos los equipos, realizando de nuevo la prueba, colocando en este caso los equipos más cercanos a la zona de trabajo mecánico del laboratorio, para asegurar el correcto funcionamiento de equipos y la viabilidad del ensayo.

El resultado es el esperado, las mediciones son precisas y el resto de elementos funcionan con normalidad. Se distribuyen los equipos de una forma eficaz que permita realizar las mediciones y anotar los resultados, siendo la distribución final la que se muestra en la siguiente fotografía.

SISTEMA NO INTRUSIVO DE DETECCIÓN DE CONGELACIÓN EN CONDUCTOS DE AGUA



Figura XX: Situación final de los componentes en el laboratorio



Figura XX: Distribución de los componentes en los ensayos



Figuras XX y XX: Ensayos antes y después de la congelación (sin congelar y congelado)

Colocados ya todos los elementos necesarios y habiendo comprobado su correcto funcionamiento, se procede a la toma de datos, la cual se realiza conectando una sonda del osciloscopio al sensor, para que identifique la frecuencia a la que el sensor transmite la señal.

En los ciclos de congelación, la toma de datos se realiza introduciendo solamente el tubo de PVC (junto con la guía y las sondas de temperatura) en el congelador, estando el condensador desconectado tanto del circuito como del tubo. En el momento en que la temperatura media ($(T1 + T2)/2$) disminuye 1 °C de la temperatura con la que se ha introducido, se saca el tubo de PVC, se le coloca el condensador y se conecta al sensor, realizando a partir de ese momento 10 medidas de frecuencias.

En los ciclos de descongelación, no es necesario introducir el tubo en el congelador, pero sí que es necesario retirar el condensador del tubo, ya que la presencia del condensador incrementa la medida de la temperatura de las sondas y falsea los resultados.

En la descongelación se realizaron dos medidas de prevención para evitar el falseo de los resultados. En primer lugar, las placas del condensador se procura que no entren en contacto con el tubo y, en segundo lugar, se limpia

cuidadosamente la superficie del tubo de agua, ya que en el cambio de fase se producen condensaciones superficiales, provocando la aparición de agua, material conductor que falsea los resultados.

Se produjeron 2 anomalías, que se reflejan en las gráficas de resultados posteriormente expuestas. La anomalía fue la misma, pero en dos casos diferentes.

Se generaron congelaciones parciales en el momento del cambio de fase, situándose exactamente en el punto en el que se encontraba la sonda superior de temperatura. Esto provocó que la lectura de ésta sonda estuviera falseada durante varios grados, por lo que no fue tomada en cuenta.



Figura XX: Primera descongelación parcial



Figura XX: Segunda descongelación parcial

6 Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos midiendo simultáneamente la temperatura del agua dentro de la tubería y la frecuencia de respuesta del sensor.

Se han realizado tres series de medidas de ciclos completos congelación – descongelación, de esta manera aseguramos la repetitibilidad de las medidas y podemos observar la existencia de algún tipo de histéresis asociada a la temperatura (la histéresis puede estar asociada al sensor y/o a la medida de temperatura con termopares).

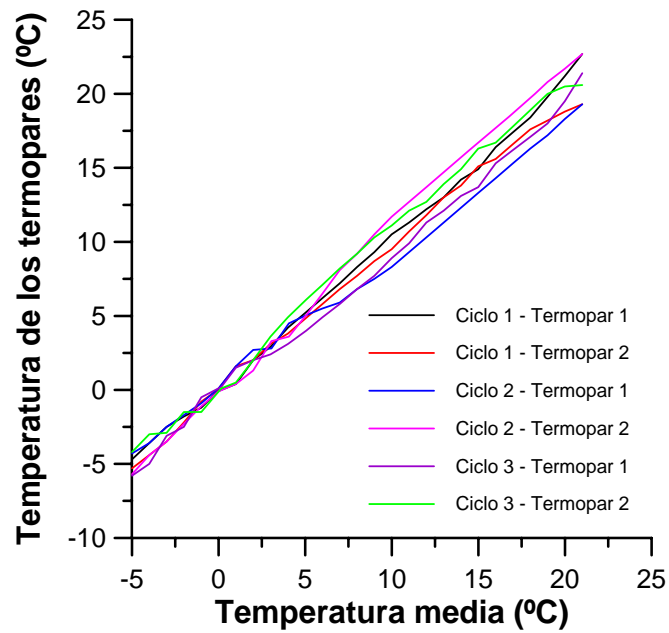
La medida de temperatura con termopares se realiza el eje de la tubería a dos alturas diferentes, ya que como la tubería se sitúa verticalmente dentro del congelador, debido a efectos de convección del agua dentro de la tubería podríamos tener temperaturas diferentes en las diferentes alturas. Debido a que el sensor capacitivo abarca la mayor parte de la longitud de la tubería, la medida de frecuencia obtenida del sensor promediará el estado del agua de la tubería a las diferentes alturas.

En los ciclos de congelación, la toma de datos se realiza introduciendo el tubo de PVC lleno de agua (junto con la guía y las sondas de temperatura) en el congelador, dejando todos los elementos electrónicos (el sensor con su electrónica y la electrónica de medida de los termopares) fuera del congelador para evitar inestabilidades asociadas a la variación de temperatura en la electrónica de medida. Se realiza una medida cada variación de 1°C en la temperatura media ($(T1 + T2)/2$). Para ello, se saca el tubo de PVC, se le coloca el condensador y se conecta al sensor, se conectan los termopares a su medidor, realizando a partir de ese momento 10 medidas tanto de las temperaturas de cada uno de los termopares como de las frecuencias.

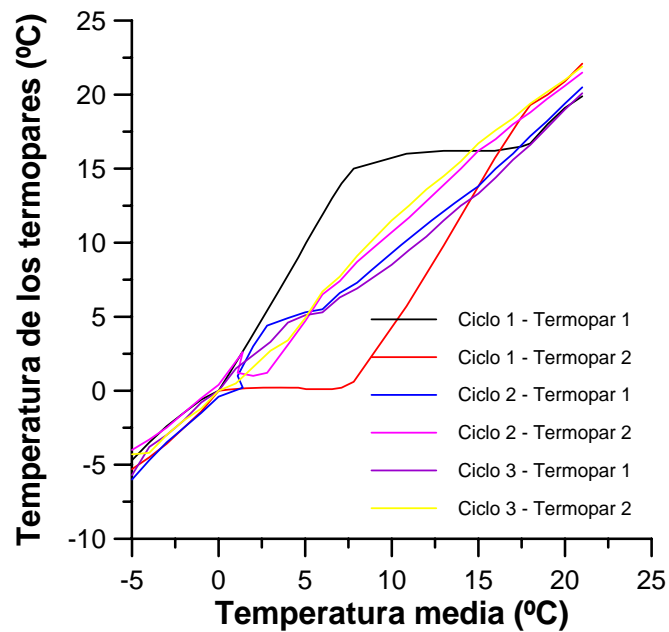
En los ciclos de descongelación, no es necesario introducir el tubo en el congelador, pero sí que es necesario retirar el condensador del tubo, ya que la presencia del condensador incrementa la medida de la temperatura de las sondas y falsea los resultados. Por lo demás. También se hacen 10 medidas para cada una de las temperaturas.

MEDIDAS DE TEMPERATURA DE LOS TERMOPARES

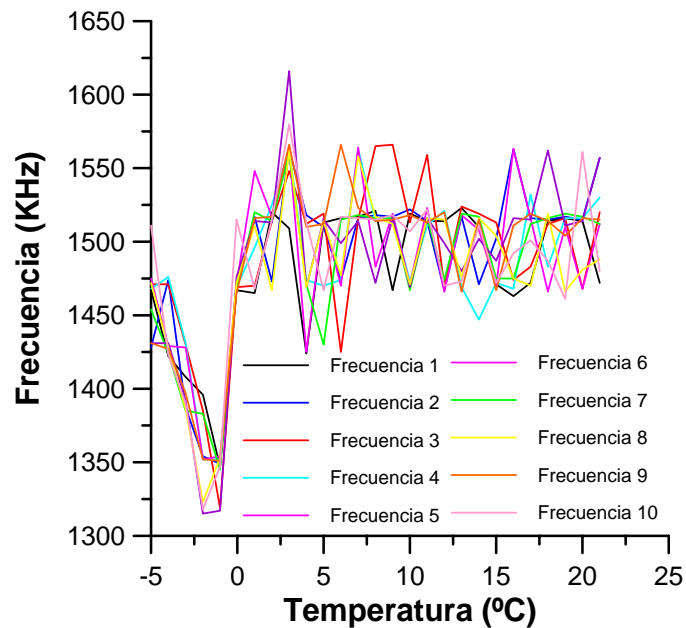
Ciclos de congelación



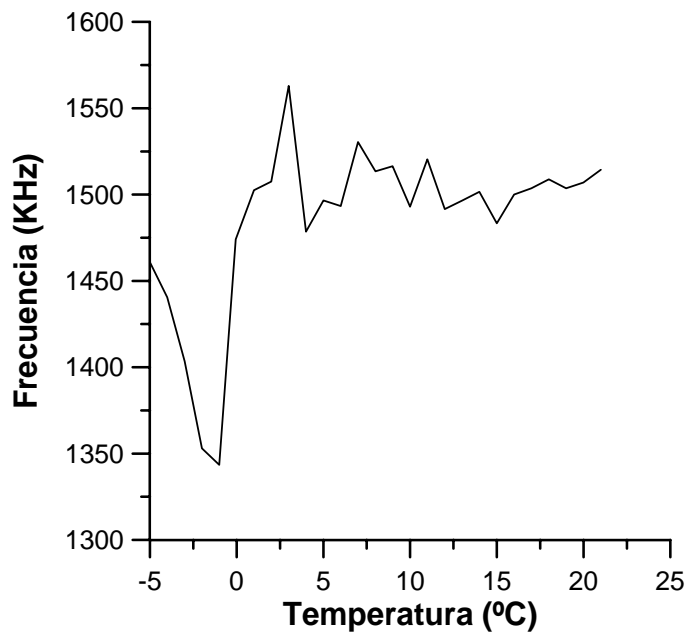
Ciclos de descongelación



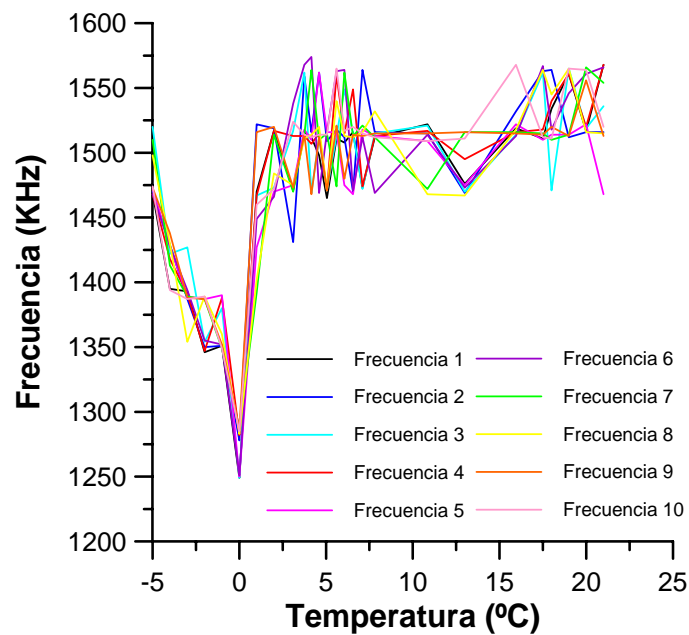
Como se puede observar, existe una pequeña dispersión de temperatura, mayor en el caso de las descongelaciones, entre las medidas obtenidas para cada uno de los dos termopares.

CONGELACIÓN

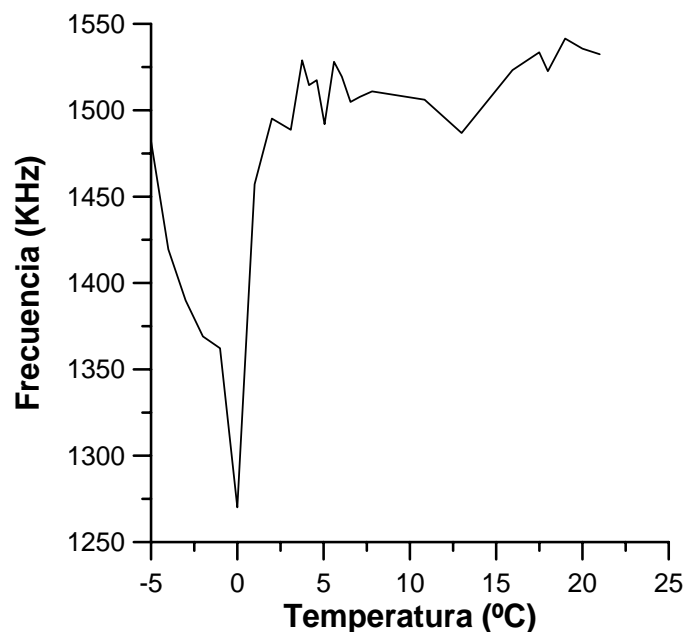
En la gráfica se muestran las 10 medidas de frecuencia para cada una de las temperaturas. Obsérvese, que existe dispersión en las medidas, pero el punto de congelación está claramente diferenciado de la dispersión de medida.



En esta gráfica se muestra el promedio de las 10 medidas de frecuencias frente a la temperatura media de los termopares. Se puede observar claramente como, en el cambio de fase, se produce un descenso muy notable de la frecuencia, concretamente hasta valores inferiores a 1350 KHz. La situación del resto de temperaturas (tanto positivas como negativas) es normal.

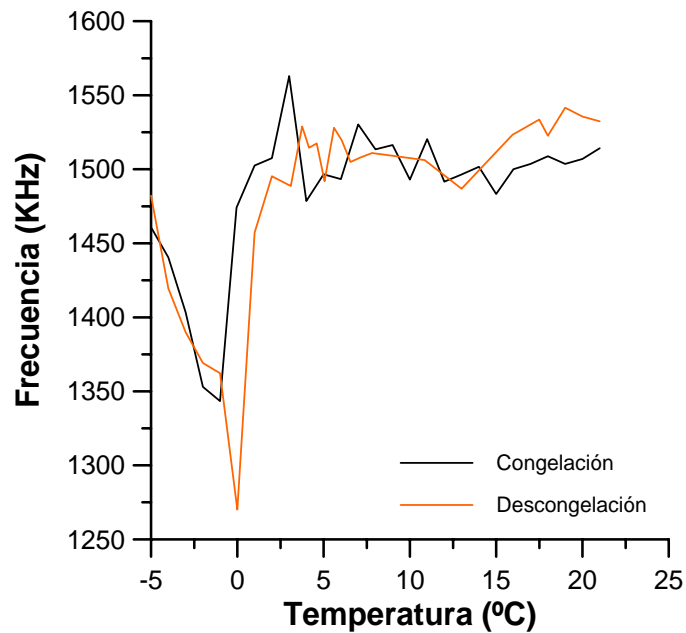
DESCONGELACION

En la gráfica se muestran, nuevamente, las 10 medidas de frecuencia para cada una de las temperaturas. El punto de congelación presenta una desviación claramente diferenciada de la dispersión de medida.



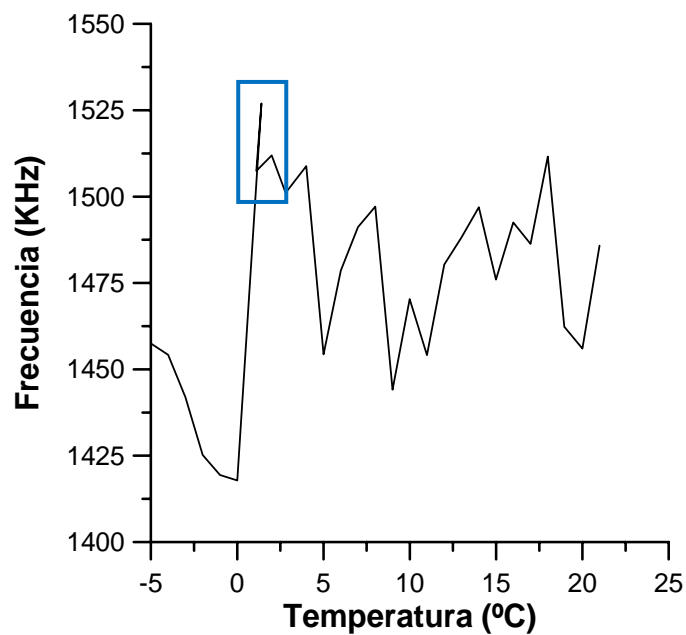
En esta gráfica se muestra el promedio de las 10 medidas de frecuencias frente a la temperatura media. Se puede observar cómo, de nuevo, los valores de la frecuencia descienden notablemente en el momento del cambio de fase.

CONGELACIÓN / DESCONGELACION



Si representamos en una misma gráfica las curvas de congelación – descongelación en el mismo ciclo de medidas, se puede observar que obtenemos una pequeña histeresis. Esta es parcialmente imputable a los termopares, pero posiblemente una parte también es debida al método de medida del sensor.

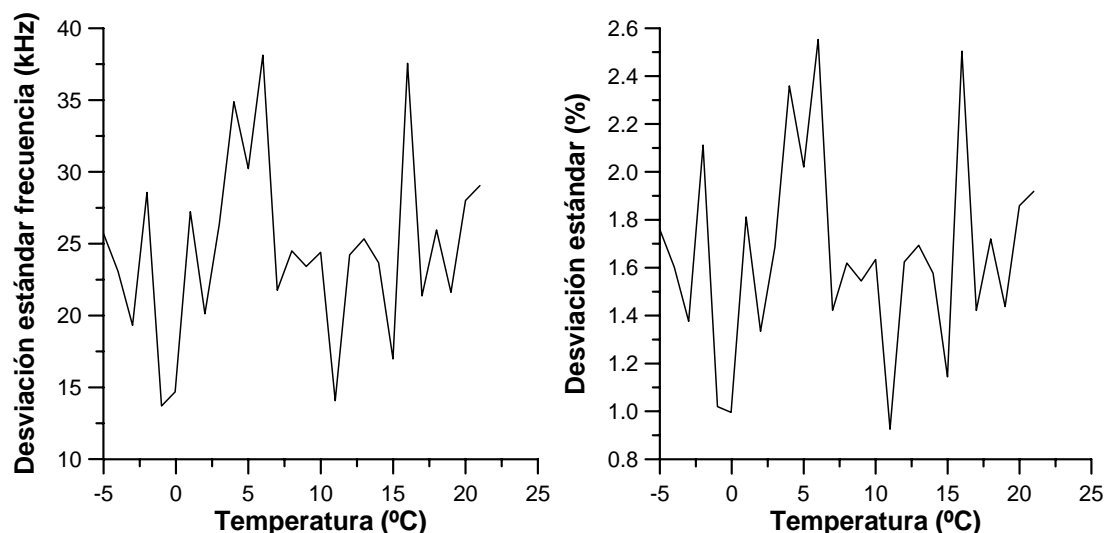
En alguna de las medidas se han obtenido irregularidades, como se muestra en la siguiente gráfica:



El retroceso marcado en azul es debido a que la sonda de temperatura superior, en ese momento, estaba fuera del agua, y en la siguiente medida ya estaba dentro (rozaba el límite superior), lo que hizo que volviera a bajar su temperatura (la de la sonda 2, que marca 2,6° frente a 0,2°, mientras que en la siguiente medida se estabiliza).

El motivo es una descongelación parcial, que al no estar del todo descongelado el hielo, el nivel de agua no era suficientemente elevado, por lo que la sonda estaba fuera del agua.

También se ha obtenido la desviación estándar de la frecuencia medida en el sensor a partir de las 10 medidas de frecuencia para cada temperatura, obteniéndose los datos que se muestran en las dos siguientes gráficas.



Como puede observarse, la dispersión máxima en las medidas es del 2,5%, siendo su promedio del 1,82%. Estos valores muestran que el sensor diseñado es suficientemente preciso para permitir la detección de los puntos de congelación con fiabilidad.

Conclusiones

Como conclusión principal podemos decir que ha sido posible construir un sensor no intrusivo capaz de detectar congelación para tuberías, diseñado y construido en los laboratorios de la EUATM.

Desde un punto de vista experimental, que aunque no estaba reflejada en los objetivos a alcanzar, es muy importante, ha sido el poder establecer una relación lineal entre la temperatura detectada por la sonda de temperatura y la frecuencia de la señal enviada por el sensor.

Se ha comprobado experimentalmente la correcta viabilidad de los estudios de los que parte el proyecto, realizándose un proceso de ensayos para su verificación, simulando una tubería de fontanería (empleando los materiales y diámetros correspondientes a una instalación) y sometiéndola a procesos de congelación/descongelación.

Se ha comprobado que el sensor desarrollado en este trabajo, tiene una aplicación igualmente válida, tanto para edificación residencial, no residencial y procesos industriales de cualquier índole, que requieran para sus procesos un suministro de agua.

Y por último, parece obvio mencionar que una vez desarrollado el elemento sensor, es necesario introducirlo en un sistema más complejo capaz de desarrollar diferentes actuaciones enfocadas a la protección, ya no sólo de los conductos, sino también de otros elementos relacionados indirectamente con ellos. Estos sistemas se desarrollaran en trabajos posteriores.

Futuras líneas de investigación

- 1) Optimización del sensor con la circuitería de tratamiento de la señal para obtener señales limpias y mejor diferenciadas en la obtención del punto de congelación. Las graficas mostradas en este trabajo se han obtenido a partir de datos medidos en el sensor pero se han tratado para obtener promedios de 10 medidas por punto, dentro de una hoja Excel. Esto mismo puede ser realizado mediante la electrónica adecuada dentro del propio sensor.
- 2) Diseño de circuitos auxiliares para aplicaciones domóticas y/o industriales del sensor desarrollado. Es bien sabido que, un sensor no tiene aplicación inmediata, salvo que se obtenga a partir de él señales digitales que se puedan comunicar a sistemas automáticos de control, que permitan la interpretación de los datos medidos y generen órdenes sobre actuadores y/o alarmas. Para ello, se deberían desarrollar los siguientes elementos:
 - a. Circuito de digitalización de las medidas obtenidas con el sensor
 - b. Circuito de almacenamiento de medidas
 - c. Circuito de comunicación de datos, vía cable, vía radio o ambas
 - d. Programa de toma de datos en ordenador junto con la generación de alarmas necesarias para un sistema domótico.
- 3) Posibles adaptaciones del sensor a diversos procesos industriales. Un sensor es un elemento generalmente electrónico, capaz de medir un parámetro físico. En este trabajo, nos hemos centrado en la aplicación de un sensor capaz de detectar el punto de congelación del agua para su aplicación en el área de la construcción, concretamente, en evitar la congelación de tuberías. Evidentemente, la capacidad del sensor no cambia si se aplica en cualquier otro ámbito, por ello creemos que, con pequeñas adaptaciones, este sensor podría aplicarse a diversos procesos industriales en donde el punto de congelación de un fluido, sea un parámetro a controlar.

Bibliografía

LIBROS Y TESIS DOCTORALES

- [01] Serway, Raymond A.; Libro: Física. Mac Graw-Hill.; ISBN: 9684229879
- [02] Tipler, Paul A.; Libro: Física. Reverte.; ISBN: 8429143661
- [03] García García, A.; Tesis doctoral: Procesos anhistóricos de imanación y sus posibles aplicaciones. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Físicas.
- [04] Morón, C., García, A.; Libro: Sensores y actuadores. Universidad politécnica de Madrid, 2009.; ISBN: 8496737532
- [05] Pallás, R.; Libro: Sensores y acondicionadores de señal. Marcombo. Barcelona, 2003; ISBN: 8426713440
- [06] Wilson, John S.; Libro: Sensor technology handbook. Elsevier; ISBN: 9780750677295
- [07] Norton, Harry N.; Libro: Sensores y analizadores. Gustavo Gili.; ISBN: 842521193X
- [08] Fraden, J.; Libro: Handbook of modern sensors. Physics, designs and applications. Springer-Verlag.; ISBN: 0387007504
- [09] Ferreras, Francisco L.; Libro: Análisis de circuitos lineales Vol. I y II. Ciencia 3.; ISBN: 8486204577
- [10] Ferrero Corral, J.M.; Libro: Instrumentación electrónica Sensores I. Universidad Politécnica de Valencia.; ISBN: 8477212716
- [11] Lorrain, P.; Libro: Campos y ondas electromagnéticos. Selecciones científicas.; ISBN: 8485021290
- [12] Kip, Arthur F.; Libro: Fundamentos de electricidad y magnetismo. Mac Graw-Hill.; ISBN: 0070347808
- [13] C.M. Harris (ed), Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control, 3 rd ed., McGraw-Hill, New York, NY 10020, 1988; ISBN: 0070268681

ARTICULOS

[14] F. Rudolf, A micromechanical capacitive accelerometer with a two-point inertial-mass suspension, *Sensors and Actuators*, Vol. 4 (1983) 191-198

[15] D.R. Harrison, J. Dimeff, A diode-quad bridge for use with capacitive transducers, *Rev. Sci. Instrum.*, Vol.44 (1973) 1468

[16] Puers, Capacitive sensors: when and how to use them, *Sensors and Actuators* A37-38 (1993), 93-105

[17] S. Hein, K. Holzner, V. Schlichting, E. Obermeier, K. Barton, Capacitive differential pressure sensor with high overload capacity using silicon/glass technology, *Transducers'97* (1997) 1477-1480

[18] D.R. Harrison, J. Dimeff, A diode-quad bridge for use with capacitive transducers, *Rev. Sci. Instrum.*, Vol.44 (1973) 1468

[19] W. Ko, M. Bao, Y. Hong, A high sensitivity integrated circuit capacitive pressure transducer, *IEEE Trans. on Electron Devices*, Vol. ED-29 (1982) 48-56

[20] C. Stephan, New generation of humidity sensors, *Sensor Review* 22 (2002):300-2.

[21] ZM Rittersma, Recent Achievements in Miniaturized Humidity Sensors: A Review of Transduction Techniques, *Sensors and Actuators* 96 (2002):196-210.

[22] D.K. Roveti, Choosing a Humidity Sensor: A Review of Three Technologies, *Sensors* 18 (2001):54-8.

[23] Quelch, D. "Humidity Sensors for Industrial Applications." *International Conference on Sensors and Transducers*, Vol. 1. Tavistock, UK: Trident Exhibitions, 2001.

[24] Gautschi G., "Piezoelectric Sensorics," Springer (2002)

[25] IEST RP DTE-011.1, Sensor Selection for Shock and Vibration Measurement, Publ. Institute of Environmental Sciences and Technology, Chicago, 2003

[26] James L. Melsa and Donald G. Schultz, *Linear Control Systems*, pp. 196-220, McGraw-Hill, 1969.

[27] S. Middelhoek & A.C. Hoogerwerf, Smart Sensors: When and Where?. Sensors & Actuators Vol.8(1985) pp.39.

[28] Wang, J., G. Rivas, X. Cai, E. Palecek, E. Nielsen, H. Shiraishi, N. Dontha, D. Luo, C. Parrado, M. Chicharro et al., DNA electrochemical biosensors for environmental monitoring. A review, Analytica Chimica Acta, Volume 347, Issues 1-2, 30 July 1997, pp. 1-8.

PAGINAS WEB

Pagina1:<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040003/leciones/cap3lecc4.htm>

Pagina2:<http://html.rincondelvago.com/sensores-y-acondicionadores-de-senal.html>

Pagina3:http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/index.htm

Pagina4:<http://es.scribd.com/doc/3838277/sensores-varios-tipos>

Pagina5:<http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensores-caudal.htm>

Pagina6:<http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/ROB/optativos/Sensores/externos.html> (Táctiles y de presencia)

Pagina7:<http://www.trazablog.com/?p=1000> (Biométricos)

Pagina8:<http://www.galeon.com/hamd/pdf/sensorpresion.pdf> (Presion)

Pagina9:http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#fotovoltica (Fotoeléctricos)

Pagina10:http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores-parte_I.caudal.pdf (Flujo y caudal)

Pagina11:http://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad_el%C3%A9ctrica

Pagina12:<http://www.lionprecision.com/theory>

Pagina13:<http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/humiditymoisture/technical>

ANEXO I: TABLAS DE DATOS MEDIDOS

CICLO 1 (CONGELACIÓN 1)

NOTA: Las temperaturas están en °C y las frecuencias en KHz.

Temperatura			Sensor			Frecuencias medidas para cad T (KHz)									
TP 1	TP 2	Media	Frecuencia Media	Desviación Estandar	D.E. %	f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6	f 7	f 8	f 9	f 10
22,7	19,3	21	1514,3	29,0480445	2%	1472	1557	1520	1530	1512	1512	1557	1488	1515	1480
21,2	18,8	20	1507	28,003968	2%	1514	1515	1468	1516	1468	1517	1514	1481	1516	1561
19,8	18,2	19	1503,6	21,6086402	1%	1516	1517	1516	1516	1510	1519	1511	1466	1504	1461
18,4	17,6	18	1508,8	25,9520926	2%	1514	1515	1512	1483	1466	1516	1562	1519	1514	1487
17,4	16,6	17	1503,6	21,3708004	1%	1472	1516	1483	1532	1516	1512	1515	1470	1519	1501
16,4	15,6	16	1500	37,5618009	3%	1463	1563	1474	1468	1563	1475	1516	1475	1511	1492
14,9	15,1	15	1483,3	16,9708901	1%	1471	1502	1513	1472	1470	1475	1487	1504	1467	1472
14,2	13,8	14	1501,6	23,6746465	2%	1510	1471	1519	1447	1508	1517	1502	1516	1515	1511
13	13	13	1496,5	25,3388152	2%	1523	1517	1524	1469	1518	1519	1480	1476	1466	1473
12,2	11,8	12	1491,6	24,2175327	2%	1514	1467	1470	1521	1466	1474	1499	1515	1520	1470
11,3	10,7	11	1520,4	14,0728265	1%	1514	1514	1559	1511	1523	1516	1516	1516	1513	1522
10,5	9,5	10	1493	24,3994535	2%	1519	1522	1513	1473	1471	1467	1469	1471	1518	1507
9,3	8,7	9	1516,4	23,4150948	2%	1467	1517	1566	1518	1519	1516	1516	1512	1515	1518
8,3	7,7	8	1513,5	24,5005669	2%	1521	1518	1565	1514	1483	1516	1472	1517	1514	1515
7,2	6,8	7	1530,4	21,7623528	1%	1517	1516	1515	1563	1564	1518	1514	1558	1523	1516
6,2	5,8	6	1493,3	38,1285836	3%	1516	1474	1425	1474	1470	1515	1499	1477	1566	1517
5,2	4,8	5	1496,6	30,2294926	2%	1513	1510	1519	1470	1516	1430	1515	1514	1512	1467
4,2	3,8	4	1478,5	34,8879158	2%	1424	1518	1512	1474	1425	1471	1469	1469	1510	1513
2,9	3,1	3	1563	26,3691739	2%	1509	1563	1548	1563	1563	1560	1616	1562	1566	1580
2	2	2	1507,5	20,1232315	1%	1520	1473	1514	1525	1517	1514	1513	1467	1517	1515
0,4	1,6	1	1502,5	27,2202947	2%	1465	1517	1470	1496	1548	1520	1514	1511	1516	1468
-0,1	0	-0,05	1474,1	14,6776474	1%	1467	1469	1469	1469	1471	1468	1476	1472	1465	1515
-1,2	-0,8	-1	1343,4	13,6967149	1%	1347	1349	1319	1352	1354	1345	1317	1353	1351	1347
-1,8	-2,2	-2	1353	28,5696031	2%	1396	1354	1385	1352	1352	1383	1315	1323	1352	1318
-2,5	-3,5	-3	1403,4	19,3114819	1%	1408	1387	1430	1431	1428	1385	1392	1386	1397	1390
-3,6	-4,4	-4	1440,5	23,080776	2%	1422	1474	1471	1476	1429	1424	1431	1428	1427	1423
-4,7	-5,3	-5	1460,8	25,6896001	2%	1467	1428	1471	1468	1475	1454	1431	1472	1431	1511

CICLO1 (DESCONGELACIÓN 1)

NOTA: Las temperaturas están en °C y las frecuencias en KHz.

TP 1	TP 2	Media	Frecuencia Media	Desviación Estandar	D.E. %	f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6	f 7	f 8	f 9	f 10
-4,7	-5,3	-5	1482,2	19,5323094	1%	1469	1470	1468	1520	1472	1468	1510	1498	1473	1474
-3,5	-4,5	-4	1419,5	14,8642001	1%	1395	1429	1418	1422	1428	1428	1413	1430	1438	1394
-2,4	-3,6	-3	1389,9	17,3682341	1%	1393	1387	1391	1427	1389	1394	1389	1354	1388	1387
-1,5	-2,5	-2	1369,1	19,9078432	1%	1346	1350	1347	1354	1387	1355	1387	1389	1387	1389
-0,6	-1,4	-1	1362,2	16,890497	1%	1351	1351	1388	1380	1390	1352	1349	1360	1352	1349
0	0	0	1270,1	17,7103234	1%	1249	1278	1282	1249	1250	1251	1287	1283	1287	1285
1,9	0,1	1	1457,2	42,554018	3%	1470	1522	1467	1467	1427	1449	1392	1402	1516	1460
3,8	0,2	2	1495,2	23,873742	2%	1517	1519	1517	1473	1470	1466	1514	1484	1520	1472
6	0,2	3,1	1488,7	32,7992209	2%	1471	1431	1513	1517	1475	1538	1470	1475	1473	1524
7,3	0,2	3,75	1528,9	23,6992733	2%	1516	1559	1513	1562	1518	1568	1514	1511	1514	1514
8,1	0,2	4,15	1514,6	33,8532782	2%	1512	1516	1507	1469	1510	1574	1564	1514	1468	1512
9	0,2	4,6	1517,4	27,55681	2%	1498	1562	1515	1512	1562	1469	1510	1520	1512	1514
10	0,1	5,05	1491,9	23,4447341	2%	1465	1509	1471	1471	1516	1516	1515	1471	1471	1514
11,1	0,1	5,6	1528,1	28,8384389	2%	1511	1518	1560	1513	1516	1563	1474	1540	1521	1565
12	0,1	6,05	1519,5	30,6494517	2%	1508	1512	1515	1549	1475	1564	1562	1513	1480	1517
13	0,1	6,55	1504,8	26,5112136	2%	1516	1470	1549	1515	1468	1471	1513	1512	1514	1520
14	0,2	7,1	1507,8	28,35411	2%	1473	1564	1474	1472	1518	1512	1521	1516	1513	1515
15	0,6	7,8	1510,9	15,891647	1%	1512	1516	1513	1515	1513	1469	1512	1532	1515	1512
16	5,7	10,85	1506,2	19,5664111	1%	1522	1515	1517	1521	1509	1514	1472	1468	1515	1509
16,2	9,8	13	1486,8	20,536147	1%	1476	1469	1495	1470	1475	1473	1516	1467	1516	1511
16,2	15,7	15,95	1523,3	16,6336339	1%	1519	1532	1516	1514	1522	1513	1516	1518	1515	1568
16,5	18,5	17,5	1533,6	26,2856108	2%	1511	1563	1518	1562	1510	1567	1515	1564	1514	1512
16,7	19,3	18	1522,7	25,1795773	2%	1534	1564	1540	1471	1514	1518	1510	1545	1520	1511
18	20	19	1541,6	25,016439	2%	1561	1512	1561	1565	1514	1546	1514	1565	1513	1565
19,1	20,9	20	1535,7	22,6325724	1%	1517	1516	1520	1519	1522	1561	1566	1516	1556	1564
19,9	22,1	21	1532,4	32,3047984	2%	1568	1516	1568	1536	1468	1566	1554	1515	1513	1520

CICLO 2 (CONGELACIÓN 2)

TP 1	TP 2	Media	Frecuencia Media	Desviación Estandar	D.E. %	f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6	f 7	f 8	f 9	f 10
19,3	22,7	21	1477,8	43,4454959	3%	1433	1470	1517	1513	1508	1508	1522	1467	1392	1448
18,3	21,7	20	1520,1	34,0765478	2%	1563	1515	1561	1550	1465	1470	1519	1537	1511	1510
17,2	20,8	19	1522,4	15,5791884	1%	1514	1515	1515	1529	1525	1564	1518	1511	1515	1518
16,3	19,7	18	1523,1	19,8743274	1%	1513	1510	1516	1557	1514	1564	1513	1512	1516	1516
15,3	18,7	17	1524,5	19,3634822	1%	1512	1515	1514	1518	1518	1513	1516	1517	1559	1563
14,3	17,7	16	1551,7	28,956097	2%	1563	1559	1511	1512	1566	1532	1543	1609	1559	1563
13,3	16,7	15	1543,9	22,5016049	1%	1561	1525	1516	1516	1561	1562	1515	1558	1564	1561
12,3	15,7	14	1519,7	26,0215722	2%	1561	1514	1511	1509	1475	1511	1514	1565	1520	1517
11,3	14,7	13	1522,3	34,5769673	2%	1561	1517	1511	1565	1470	1470	1564	1521	1516	1528
10,3	13,7	12	1497,3	23,7442391	2%	1516	1515	1514	1475	1514	1472	1470	1463	1520	1514
9,3	12,7	11	1517,9	23,0721092	2%	1517	1512	1511	1534	1515	1520	1472	1566	1514	1518
8,3	11,7	10	1526	29,8626485	2%	1514	1517	1527	1511	1568	1470	1517	1561	1561	1514
7,5	10,5	9	1523,6	22,2620754	1%	1509	1525	1514	1515	1564	1499	1517	1515	1564	1514
6,8	9,2	8	1489,2	25,9478109	2%	1469	1470	1521	1471	1522	1468	1466	1517	1471	1517
5,9	8,1	7	1476,5	29,792803	2%	1465	1517	1514	1468	1458	1468	1516	1464	1426	1469
5,5	6,5	6	1520,3	35,3146177	2%	1563	1514	1467	1564	1522	1515	1513	1564	1470	1511
5,1	5,2	5,15	1515,6	29,3643775	2%	1515	1562	1471	1514	1517	1517	1516	1553	1522	1469
4,5	3,6	4,05	1518	24,7655675	2%	1470	1513	1504	1558	1517	1514	1516	1516	1555	1517
2,8	3,3	3,05	1518,3	21,1452648	1%	1528	1519	1522	1509	1515	1516	1477	1519	1514	1564
2,7	1,3	2	1516,3	49,9133694	3%	1471	1516	1470	1610	1513	1567	1467	1565	1471	1513
1,6	0,4	1	1470,8	36,4197748	2%	1503	1516	1466	1418	1523	1476	1477	1430	1431	1468
0,1	-0,1	0	1487,7	29,3940659	2%	1466	1501	1426	1491	1471	1474	1518	1519	1518	1493
-0,9	-1,1	-1	1428,3	19,9335006	1%	1430	1431	1476	1426	1414	1426	1424	1396	1428	1432
-1,7	-2,3	-2	1437,2	18,9724947	1%	1430	1427	1430	1426	1427	1472	1474	1426	1428	1432
-2,5	-3,5	-3	1446,1	29,141227	2%	1431	1428	1431	1468	1448	1430	1518	1426	1425	1456
-3,6	-4,4	-4	1448,5	25,2245471	2%	1427	1433	1471	1428	1472	1471	1493	1426	1430	1434
-4,3	-5,7	-5	1470,2	20,6333064	1%	1457	1429	1471	1473	1471	1473	1514	1470	1469	1475

CICLO 2 (DESCONGELACIÓN 2)

TP 1	TP 2	Media	Frecuencia Media	Desviación Estandar	D.E. %	f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6	f 7	f 8	f 9	f 10
-6	-4	-5	1457,5	21,3710604	1%	1471	1471	1426	1473	1426	1470	1469	1467	1474	1428
-4,7	-3,3	-4	1454,2	19,3149338	1%	1430	1469	1431	1469	1463	1474	1433	1469	1434	1470
-3,5	-2,5	-3	1441,9	16,8222736	1%	1430	1474	1429	1436	1428	1464	1457	1431	1430	1440
-2,5	-1,5	-2	1425,2	14,320149	1%	1432	1437	1419	1434	1432	1428	1430	1387	1425	1428
-1,5	-0,5	-1	1419,4	25,9323907	2%	1435	1429	1407	1431	1427	1433	1392	1385	1467	1388
-0,4	0,4	0	1417,8	15,4186035	1%	1397	1407	1416	1432	1430	1388	1425	1428	1426	1429
0,2	2,6	1,4	1527	28,4487844	2%	1565	1489	1512	1567	1517	1518	1512	1505	1567	1518
1	1,2	1,1	1507,4	17,538529	1%	1479	1514	1514	1471	1518	1514	1513	1524	1516	1511
3	1	2	1511,9	17,8789137	1%	1514	1530	1516	1539	1471	1513	1503	1508	1509	1516
4,4	1,2	2,8	1501,1	21,9719518	1%	1470	1516	1514	1516	1469	1511	1516	1515	1469	1515
4,9	3,1	4	1508,8	20,1373065	1%	1516	1473	1511	1472	1516	1512	1517	1534	1517	1520
5,3	4,7	5	1454,3	45,1172546	3%	1427	1413	1476	1518	1422	1478	1430	1389	1467	1523
5,5	6,5	6	1478,6	35,6532685	2%	1503	1468	1475	1421	1468	1522	1519	1514	1466	1430
6,6	7,4	7	1491,2	25,6246409	2%	1506	1508	1470	1469	1517	1471	1512	1514	1443	1502
7,3	8,7	8	1497,1	24,465168	2%	1510	1515	1512	1468	1484	1474	1510	1543	1471	1484
8,3	9,7	9	1444,1	29,5839671	2%	1516	1424	1431	1430	1427	1471	1430	1428	1457	1427
9,3	10,7	10	1470,3	20,44532	1%	1468	1472	1476	1514	1468	1467	1472	1428	1469	1469
10,3	11,7	11	1454,1	27,5779703	2%	1431	1419	1507	1448	1430	1473	1470	1428	1465	1470
11,2	12,8	12	1480,3	26,9363447	2%	1473	1515	1471	1470	1514	1469	1467	1478	1431	1515
12,1	13,9	13	1488,2	20,0709851	1%	1511	1473	1519	1496	1513	1472	1466	1472	1487	1473
13	15	14	1496,9	23,7414312	2%	1519	1518	1510	1469	1517	1514	1469	1472	1468	1513
13,8	16,2	15	1476	38,3608597	3%	1518	1426	1514	1510	1471	1521	1432	1473	1467	1428
15	17	16	1492,5	32,6743188	2%	1470	1542	1469	1472	1515	1520	1436	1514	1513	1474
16	18	17	1486,3	35,0303043	2%	1473	1441	1514	1472	1521	1515	1516	1518	1427	1466
17,2	18,8	18	1511,6	45,7971372	3%	1468	1469	1513	1425	1558	1562	1529	1516	1513	1563
18,2	19,7	18,95	1462,3	27,9684346	2%	1469	1424	1469	1512	1467	1473	1474	1480	1429	1426
19,4	20,6	20	1456	19,2757764	1%	1428	1471	1475	1432	1432	1474	1465	1467	1470	1446
20,5	21,5	21	1485,8	28,2874138	2%	1519	1470	1515	1514	1474	1436	1516	1474	1466	1474

CICLO 3 (CONGELACIÓN 3)

TP 1	TP 2	Media	Frecuencia Media	Desviación Estandar	D.E. %	f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6	f 7	f 8	f 9	f 10
21,4	20,6	21	1494	24,6531494	2%	1523	1469	1468	1467	1516	1512	1519	1471	1515	1480
19,5	20,5	20	1525,5	26,378653	2%	1500	1483	1532	1521	1563	1514	1512	1565	1546	1519
18	20	19	1536,3	25,2148545	2%	1511	1513	1563	1511	1565	1515	1563	1548	1560	1514
17,1	18,9	18	1503,1	20,5396635	1%	1516	1513	1469	1474	1516	1516	1478	1521	1513	1515
16,2	17,8	17	1517,8	15,2810704	1%	1485	1520	1546	1515	1521	1515	1531	1515	1514	1516
15,3	16,7	16	1516	23,0024153	2%	1531	1485	1512	1562	1513	1480	1515	1527	1515	1520
13,7	16,3	15	1549,1	26,065942	2%	1514	1515	1567	1581	1569	1568	1555	1550	1511	1561
13,1	14,9	14	1531	23,8094286	2%	1511	1522	1520	1566	1564	1565	1522	1513	1516	1511
12,1	13,9	13	1500,2	31,8252171	2%	1465	1466	1468	1560	1513	1515	1510	1520	1469	1516
11,3	12,7	12	1513,4	33,4770236	2%	1470	1512	1516	1565	1477	1469	1544	1519	1549	1513
9,9	12,1	11	1475,2	31,8112489	2%	1426	1471	1476	1512	1479	1471	1513	1468	1511	1425
8,9	11,1	10	1490	40,9009644	3%	1513	1516	1519	1560	1465	1469	1474	1426	1444	1514
7,7	10,3	9	1513,9	29,938641	2%	1513	1562	1515	1553	1469	1515	1467	1515	1516	1514
6,8	9,2	8	1525,9	20,9785605	1%	1520	1510	1518	1565	1516	1564	1517	1513	1527	1509
5,8	8,2	7	1526,3	20,0502147	1%	1510	1520	1562	1519	1512	1514	1514	1515	1562	1535
4,9	7,1	6	1558	13,1402689	1%	1561	1555	1568	1563	1565	1559	1522	1563	1560	1564
4	6,1	5,05	1509,8	15,1716109	1%	1516	1518	1519	1502	1519	1514	1512	1469	1516	1513
3,1	4,9	4	1490,5	28,4145894	2%	1469	1514	1509	1514	1432	1509	1517	1470	1500	1471
2,4	3,6	3	1505,6	18,1732404	1%	1515	1521	1476	1469	1516	1512	1519	1503	1513	1512
2	2	2	1523,1	18,699079	1%	1508	1514	1522	1514	1564	1516	1514	1513	1515	1551
1,5	0,5	1	1497,6	20,5761458	1%	1512	1474	1466	1517	1516	1489	1512	1504	1515	1471
0,2	0,1	0,15	1498,5	21,547106	1%	1519	1485	1515	1470	1468	1474	1516	1507	1517	1514
-0,5	-1,5	-1	1418,2	15,6190767	1%	1389	1394	1426	1422	1431	1426	1429	1408	1432	1425
-2,5	-1,5	-2	1484,3	21,5924369	1%	1464	1513	1520	1471	1470	1470	1483	1511	1472	1469
-3,1	-2,9	-3	1443,7	21,4219514	1%	1465	1429	1432	1464	1432	1426	1476	1420	1426	1467
-5	-3	-4	1502,6	21,2874507	1%	1515	1470	1519	1472	1512	1512	1516	1474	1520	1516
-5,8	-4,2	-5	1483,7	21,5872905	1%	1514	1476	1474	1467	1469	1470	1518	1468	1469	1512

CICLO 3 (DESCONGELACIÓN 3)

TP 1	TP 2	Media	Frecuencia Media	Desviación Estandar	D.E. %	f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6	f 7	f 8	f 9	f 10
-5,7	-4,3	-5	1523,6	18,1242624	1%	1514	1531	1519	1565	1544	1511	1509	1516	1517	1510
-3,8	-4,2	-4	1476,8	12,3270254	1%	1476	1477	1475	1474	1511	1468	1471	1474	1471	1471
-3	-3	-3	1488,7	18,5953997	1%	1495	1482	1469	1472	1510	1469	1472	1512	1491	1515
-2	-2	-2	1471,1	20,1629473	1%	1470	1520	1468	1470	1467	1470	1469	1470	1436	1471
-0,8	-1,2	-1	1438,3	27,1377146	2%	1427	1474	1429	1426	1472	1430	1428	1393	1427	1477
0	0	0	1463,4	13,7856608	1%	1467	1474	1458	1468	1429	1467	1475	1471	1471	1454
1,5	0,5	1	1511,6	23,4198396	2%	1519	1519	1510	1514	1516	1515	1505	1471	1561	1486
2,4	1,6	2	1493,8	37,8441247	3%	1470	1468	1429	1559	1470	1473	1518	1519	1515	1517
3,3	2,7	3	1529,9	30,7045056	2%	1473	1564	1516	1511	1511	1558	1562	1527	1514	1563
4,6	3,4	4	1497,9	24,2736712	2%	1514	1479	1523	1471	1515	1469	1515	1462	1514	1517
5,1	4,9	5	1506,6	40,6426158	3%	1516	1559	1507	1475	1515	1516	1479	1423	1562	1514
5,3	6,7	6	1509,3	24,815094	2%	1558	1515	1516	1509	1514	1515	1474	1500	1522	1470
6,3	7,7	7	1485,4	20,9242018	1%	1470	1469	1469	1519	1513	1489	1471	1469	1474	1511
6,9	9,1	8	1442,2	38,0315658	3%	1425	1405	1425	1470	1513	1422	1423	1473	1392	1474
7,7	10,3	9	1437,9	28,1284751	2%	1470	1442	1472	1422	1431	1431	1429	1474	1383	1425
8,5	11,5	10	1435,3	32,4107321	2%	1426	1389	1428	1466	1429	1471	1414	1470	1390	1470
9,5	12,5	11	1429,8	27,1898674	2%	1424	1432	1427	1386	1425	1433	1397	1469	1430	1475
10,4	13,6	12	1467,4	20,5220748	1%	1513	1443	1470	1464	1435	1471	1466	1471	1471	1470
11,5	14,5	13	1492,9	25,146018	2%	1472	1466	1472	1521	1515	1515	1513	1469	1467	1519
12,5	15,5	14	1528,2	21,0755256	1%	1522	1550	1516	1513	1516	1512	1518	1511	1564	1560
13,3	16,7	15	1427,2	41,7660149	3%	1384	1387	1471	1392	1388	1422	1429	1469	1427	1503
14,4	17,6	16	1504,2	17,021555	1%	1515	1513	1505	1513	1515	1509	1475	1470	1513	1514
15,6	18,4	17	1505,7	23,6316643	2%	1516	1542	1471	1481	1508	1514	1471	1514	1524	1516
16,6	19,4	18	1515,9	18,5019518	1%	1517	1520	1529	1513	1514	1518	1474	1549	1513	1512
17,8	20,2	19	1501	30,4192921	2%	1517	1515	1466	1516	1513	1516	1472	1465	1557	1473
19	21	20	1468	25,3902869	2%	1432	1475	1473	1424	1474	1474	1516	1464	1478	1470
20,1	21,9	21	1483,9	22,6541632	2%	1474	1471	1515	1502	1463	1461	1469	1514	1463	1507

ANEXO II: HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DE LOS INTEGRADOS



LM78XX/LM78XXA

3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

General Description

The LM78XX series of three terminal positive regulators are available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature	
LM7805CT	±4%	TO-220	-40°C to +125°C	
LM7806CT				
LM7808CT				
LM7809CT				
LM7810CT				
LM7812CT				
LM7815CT				
LM7818CT				
LM7824CT				
LM7805ACT	±2%		TO-220	0°C to +125°C
LM7806ACT				
LM7808ACT				
LM7809ACT				
LM7810ACT				
LM7812ACT				
LM7815ACT				
LM7818ACT				
LM7824ACT				

Block Diagram

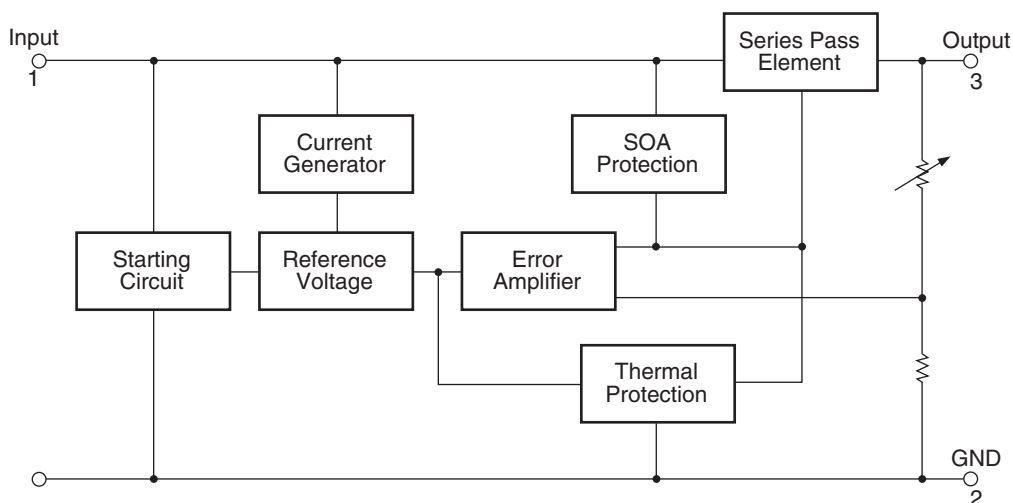


Figure 1.

Pin Assignment

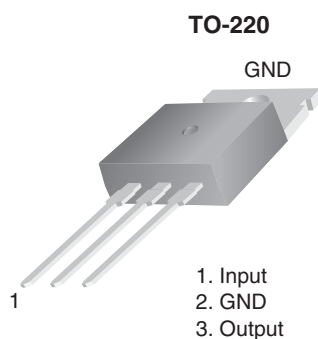


Figure 2.

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. The datasheet specifications should be met, without exception, to ensure that the system design is reliable over its power supply, temperature, and output/input loading variables. Fairchild does not recommend operation outside datasheet specifications.

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	Input Voltage	$V_O = 5V \text{ to } 18V$	35	V
		$V_O = 24V$	40	V
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)		5	$^{\circ}C/W$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)		65	$^{\circ}C/W$
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^{\circ}C$
		LM78xxA	0 to +125	
T_{STG}	Storage Temperature Range		-65 to +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (LM7805)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.8	5.0	5.2	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7\text{V to } 20\text{V}$	4.75	5.0	5.25	
Regline	Line Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_O = 7\text{V to } 25\text{V}$	–	4.0	mV
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	1.6	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.03	0.5	mA
		$V_I = 7\text{V to } 25\text{V}$	–	0.3	1.3	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	42.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62.0	73.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	15.0	–	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Notes:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
2. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7806) (Continued)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 11\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.75	6.0	6.25	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 8.0\text{V to } 21\text{V}$	5.7	6.0	6.3	
Regline	Line Regulation ⁽³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	–	5.0	120	mV
			–	1.5	60.0	
Regload	Load Regulation ⁽³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	120	mV
			–	3.0	60.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	–	–	1.3	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	45.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62.0	73.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	m Ω
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7808) (Continued)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
V _O	Output Voltage	T _J = +25°C		7.7	8.0	8.3	V
		5mA ≤ I _O ≤ 1A, P _O ≤ 15W, V _I = 10.5V to 23V		7.6	8.0	8.4	
Regline	Line Regulation ⁽⁵⁾	T _J = +25°C	V _I = 10.5V to 25V	—	5.0	160	mV
			V _I = 11.5V to 17V	—	2.0	80.0	
Regload	Load Regulation ⁽⁵⁾	T _J = +25°C	I _O = 5mA to 1.5A	—	10.0	160	mV
			I _O = 250mA to 750mA	—	5.0	80.0	
I _Q	Quiescent Current	T _J = +25°C		—	5.0	8.0	mA
ΔI _Q	Quiescent Current Change	I _O = 5mA to 1A		—	0.05	0.5	mA
		V _I = 10.5V to 25V		—	0.5	1.0	
ΔV _O /ΔT	Output Voltage Drift ⁽⁶⁾	I _O = 5mA		—	-0.8	—	mV/°C
V _N	Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz, T _A = +25°C		—	52.0	—	μV/V _O
RR	Ripple Rejection ⁽⁶⁾	f = 120Hz, V _O = 11.5V to 21.5V		56.0	73.0	—	dB
V _{DROP}	Dropout Voltage	I _O = 1A, T _J = +25°C		—	2.0	—	V
r _O	Output Resistance ⁽⁶⁾	f = 1kHz		—	17.0	—	mΩ
I _{SC}	Short Circuit Current	V _I = 35V, T _A = +25°C		—	230	—	mA
I _{PK}	Peak Current ⁽⁶⁾	T _J = +25°C		—	2.2	—	A

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7809) (Continued)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 15\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.65	9.0	9.35	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	8.6	9.0	9.4	
Regline	Line Regulation ⁽⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 11.5\text{V to } 25\text{V}$	—	6.0	180	mV
			—	2.0	90.0	
Regload	Load Regulation ⁽⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	—	12.0	180	mV
			—	4.0	90.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	5.0	8.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	—	0.5	mA
		$V_I = 11.5\text{V to } 26\text{V}$	—	—	1.3	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽⁸⁾	$I_O = 5\text{mA}$	—	-1.0	—	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	58.0	—	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽⁸⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 13\text{V to } 23\text{V}$	56.0	71.0	—	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.0	—	V
r_O	Output Resistance ⁽⁸⁾	$f = 1\text{kHz}$	—	17.0	—	m Ω
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	250	—	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽⁸⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.2	—	A

Notes:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7810) (Continued)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 16\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
V _O	Output Voltage	T _J = +25°C		9.6	10.0	10.4	V
		5mA ≤ I _O ≤ 1A, P _O ≤ 15W, V _I = 12.5V to 25V		9.5	10.0	10.5	
Regline	Line Regulation ⁽⁹⁾	T _J = +25°C	V _I = 12.5V to 25V	—	10.0	200	mV
			V _I = 13V to 25V	—	3.0	100	
Regload	Load Regulation ⁽⁹⁾	T _J = +25°C	I _O = 5mA to 1.5A	—	12.0	200	mV
			I _O = 250mA to 750mA	—	4.0	400	
I _Q	Quiescent Current	T _J = +25°C		—	5.1	8.0	mA
ΔI _Q	Quiescent Current Change	I _O = 5mA to 1A		—	—	0.5	mA
		V _I = 12.5V to 29V		—	—	1.0	
ΔV _O /ΔT	Output Voltage Drift ⁽¹⁰⁾	I _O = 5mA		—	-1.0	—	mV/°C
V _N	Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz, T _A = +25°C		—	58.0	—	μV/V _O
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁰⁾	f = 120Hz, V _O = 13V to 23V		56.0	71.0	—	dB
V _{DROP}	Dropout Voltage	I _O = 1A, T _J = +25°C		—	2.0	—	V
r _O	Output Resistance ⁽¹⁰⁾	f = 1kHz		—	17.0	—	mΩ
I _{SC}	Short Circuit Current	V _I = 35V, T _A = +25°C		—	250	—	mA
I _{PK}	Peak Current ⁽¹⁰⁾	T _J = +25°C		—	2.2	—	A

Notes:

9. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
10. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7812) (Continued)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
V _O	Output Voltage	T _J = +25°C		11.5	12.0	12.5	V
		5mA ≤ I _O ≤ 1A, P _O ≤ 15W, V _I = 14.5V to 27V		11.4	12.0	12.6	
Regline	Line Regulation ⁽¹¹⁾	T _J = +25°C	V _I = 14.5V to 30V	–	10.0	240	mV
			V _I = 16V to 22V	–	3.0	120	
Regload	Load Regulation ⁽¹¹⁾	T _J = +25°C	I _O = 5mA to 1.5A	–	11.0	240	mV
			I _O = 250mA to 750mA	–	5.0	120	
I _Q	Quiescent Current	T _J = +25°C		–	5.1	8.0	mA
ΔI _Q	Quiescent Current Change	I _O = 5mA to 1A		–	0.1	0.5	mA
		V _I = 14.5V to 30V		–	0.5	1.0	
ΔV _O /ΔT	Output Voltage Drift ⁽¹²⁾	I _O = 5mA		–	-1.0	–	mV/°C
V _N	Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz, T _A = +25°C		–	76.0	–	μV/V _O
RR	Ripple Rejection ⁽¹²⁾	f = 120Hz, V _I = 15V to 25V		55.0	71.0	–	dB
V _{DROP}	Dropout Voltage	I _O = 1A, T _J = +25°C		–	2.0	–	V
r _O	Output Resistance ⁽¹²⁾	f = 1kHz		–	18.0	–	mΩ
I _{SC}	Short Circuit Current	V _I = 35V, T _A = +25°C		–	230	–	mA
I _{PK}	Peak Current ⁽¹²⁾	T _J = +25°C		–	2.2	–	A

Notes:

11. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
12. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7815) (Continued)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 23\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
V _O	Output Voltage	T _J = +25°C		14.4	15.0	15.6	V
		5mA ≤ I _O ≤ 1A, P _O ≤ 15W, V _I = 17.5V to 30V		14.25	15.0	15.75	
Regline	Line Regulation ⁽¹³⁾	T _J = +25°C	V _I = 17.5V to 30V	–	11.0	300	mV
			V _I = 20V to 26V	–	3.0	150	
Regload	Load Regulation ⁽¹³⁾	T _J = +25°C	I _O = 5mA to 1.5A	–	12.0	300	mV
			I _O = 250mA to 750mA	–	4.0	150	
I _Q	Quiescent Current	T _J = +25°C		–	5.2	8.0	mA
ΔI _Q	Quiescent Current Change	I _O = 5mA to 1A		–	–	0.5	mA
		V _I = 17.5V to 30V		–	–	1.0	
ΔV _O /ΔT	Output Voltage Drift ⁽¹⁴⁾	I _O = 5mA		–	-1.0	–	mV/°C
V _N	Output Noise Voltage	f = 10Hz to 100kHz, T _A = +25°C		–	90.0	–	μV/V _O
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁴⁾	f = 120Hz, V _I = 18.5V to 28.5V		54.0	70.0	–	dB
V _{DROP}	Dropout Voltage	I _O = 1A, T _J = +25°C		–	2.0	–	V
r _O	Output Resistance ⁽¹⁴⁾	f = 1kHz		–	19.0	–	mΩ
I _{SC}	Short Circuit Current	V _I = 35V, T _A = +25°C		–	250	–	mA
I _{PK}	Peak Current ⁽¹⁴⁾	T _J = +25°C		–	2.2	–	A

Notes:

13. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
14. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7818) (Continued)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 27\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.3	18.0	18.7	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.1	18.0	18.9	
Regline	Line Regulation ⁽¹⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	—	15.0	360	mV
			—	5.0	180	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	—	15.0	360	mV
			—	5.0	180	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	5.2	8.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	—	0.5	mA
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	—	—	1.0	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	—	-1.0	—	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	110	—	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	53.0	69.0	—	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.0	—	V
r_O	Output Resistance ⁽¹⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	—	22.0	—	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	250	—	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.2	—	A

Notes:

15. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
16. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7824) (Continued)

Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 33\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23.0	24.0	25.0	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	22.8	24.0	25.25	
Regline	Line Regulation ⁽¹⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	–	17.0	mV
			$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	–	6.0	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	8.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.1	0.5	mA
		$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	–	0.5	1.0	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽¹⁸⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.5	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	60.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽¹⁸⁾	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	50.0	67.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
rO	Output Resistance ⁽¹⁸⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	28.0	–	m Ω
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽¹⁸⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Notes:

17. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
18. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7805A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.9	5.0	5.1	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$	4.8	5.0	5.2	
Regline	Line Regulation ⁽¹⁹⁾	$V_I = 7.5\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	—	5.0	50.0	mV
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	—	3.0	50.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 7.3\text{V to } 20\text{V}$	—	5.0	50.0	
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	—	1.5	25.0	
Regload	Load Regulation ⁽¹⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	—	9.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	9.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	—	4.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	5.0	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	—	0.5	mA
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	—	—	0.8	
		$V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	—	0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁰⁾	$I_O = 5\text{mA}$	—	-0.8	—	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	10.0	—	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽²⁰⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 8\text{V to } 18\text{V}$	—	68.0	—	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.0	—	V
r_O	Output Resistance ⁽²⁰⁾	$f = 1\text{kHz}$	—	17.0	—	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	250	—	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁰⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.2	—	A

Notes:

19. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

20. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7806A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 11\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.58	6.0	6.12	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 8.6\text{V to } 21\text{V}$	5.76	6.0	6.24	
Regline	Line Regulation ⁽²¹⁾	$V_I = 8.6\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	5.0	60.0	mV
		$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	–	3.0	60.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 8.3\text{V to } 21\text{V}$	–	5.0	60.0	
		$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	–	1.5	30.0	
Regload	Load Regulation ⁽²¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	9.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	9.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	4.3	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 19\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 8.5\text{V to } 21\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽²²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 9\text{V to } 19\text{V}$	–	65.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽²²⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽²²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Notes:

21. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

22. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7808A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 14\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.84	8.0	8.16	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 10.6\text{V to } 23\text{V}$	7.7	8.0	8.3	
Regline	Line Regulation ⁽²³⁾	$V_I = 10.6\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	6.0	80.0	mV
		$V_I = 11\text{V to } 17\text{V}$	–	3.0	80.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 10.4\text{V to } 23\text{V}$	–	6.0	80.0	
		$V_I = 11\text{V to } 17\text{V}$	–	2.0	40.0	
Regload	Load Regulation ⁽²³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 11\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 10.6\text{V to } 23\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-0.8	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽²⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 11.5\text{V to } 21.5\text{V}$	–	62.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽²⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	m Ω
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Notes:

23. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

24. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7809A) (Continued)

Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 15\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.82	9.0	9.16	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 11.2\text{V to } 24\text{V}$	8.65	9.0	9.35	
Regline	Line Regulation ⁽²⁵⁾	$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	6.0	90.0	mV
		$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	–	4.0	45.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	–	6.0	90.0	
		$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	–	2.0	45.0	
Regload	Load Regulation ⁽²⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 12\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽²⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 12\text{V to } 22\text{V}$	–	62.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽²⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Notes:

25. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

26. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7810A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 16\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.8	10.0	10.2	V
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A , $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 12.8\text{V}$ to 25V	9.6	10.0	10.4	
Regline	Line Regulation ⁽²⁷⁾	$V_I = 12.8\text{V}$ to 26V , $I_O = 500\text{mA}$	—	8.0	100	mV
		$V_I = 13\text{V}$ to 20V	—	4.0	50.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 12.5\text{V}$ to 25V	—	8.0	100	
		$V_I = 13\text{V}$ to 20V	—	3.0	50.0	
Regload	Load Regulation ⁽²⁷⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA}$ to 1.5A	—	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	—	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	—	5.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	5.0	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	—	—	0.5	mA
		$V_I = 12.8\text{V}$ to 25V , $I_O = 500\text{mA}$	—	—	0.8	
		$V_I = 13\text{V}$ to 26V , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	—	0.5	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift ⁽²⁸⁾	$I_O = 5\text{mA}$	—	-1.0	—	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	10.0	—	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽²⁸⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V}$ to 24V	—	62.0	—	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.0	—	V
r_O	Output Resistance ⁽²⁸⁾	$f = 1\text{kHz}$	—	17.0	—	m Ω
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	250	—	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽²⁸⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.2	—	A

Notes:27. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

28. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7812A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.75	12.0	12.25	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 14.8\text{V to } 27\text{V}$	11.5	12.0	12.5	
Regline	Line Regulation ⁽²⁹⁾	$V_I = 14.8\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	10.0	120	mV
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	–	4.0	120	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$	–	10.0	120	
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	–	3.0	60.0	
Regload	Load Regulation ⁽²⁹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.1	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 14\text{V to } 27\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 15\text{V to } 30\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁰⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.0	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽³⁰⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$	–	60.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽³⁰⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁰⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note:

29. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

30. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7815A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 23\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.75	15.0	15.3	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 17.7\text{V to } 30\text{V}$	14.4	15.0	15.6	
Regline	Line Regulation ⁽³¹⁾	$V_I = 17.4\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	—	10.0	150	mV
		$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	—	5.0	150	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	—	11.0	150	
		$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	—	3.0	75.0	
Regload	Load Regulation ⁽³¹⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	—	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	—	5.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	5.2	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	—	0.5	mA
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	—	—	0.8	
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	—	0.8	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³²⁾	$I_O = 5\text{mA}$	—	-1.0	—	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	10.0	—	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽³²⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 18.5\text{V to } 28.5\text{V}$	—	58.0	—	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.0	—	V
r_O	Output Resistance ⁽³²⁾	$f = 1\text{kHz}$	—	19.0	—	m Ω
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	250	—	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽³²⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.2	—	A

Notes:

31. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

32. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7818A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 27\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.64	18.0	18.36	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.3	18.0	18.7	
Regline	Line Regulation ⁽³³⁾	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	—	15.0	180	mV
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	—	5.0	180	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 20.6\text{V to } 33\text{V}$	—	15.0	180	
		$V_I = 24\text{V to } 30\text{V}$	—	5.0	90.0	
Regload	Load Regulation ⁽³³⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	—	15.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	15.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	—	7.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	5.2	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	—	0.5	mA
		$V_I = 12\text{V to } 33\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	—	—	0.8	
		$V_I = 12\text{V to } 33\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	—	0.8	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁴⁾	$I_O = 5\text{mA}$	—	-1.0	—	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	10.0	—	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽³⁴⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	—	57.0	—	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.0	—	V
r_O	Output Resistance ⁽³⁴⁾	$f = 1\text{kHz}$	—	19.0	—	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	250	—	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁴⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.2	—	A

Notes:

33. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

34. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7824A) (Continued)Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 33\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
V_O	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23.5	24.0	24.5	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$	23.0	24.0	25.0	
Regline	Line Regulation ⁽³⁵⁾	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	18.0	240	mV
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	6.0	240	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 26.7\text{V to } 38\text{V}$	–	18.0	240	
		$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	–	6.0	120	
Regload	Load Regulation ⁽³⁵⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	–	15.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	15.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	7.0	50.0	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift ⁽³⁶⁾	$I_O = 5\text{mA}$	–	-1.5	–	mV/ $^{\circ}\text{C}$
V_N	Output Noise Voltage	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
RR	Ripple Rejection ⁽³⁶⁾	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	–	54.0	–	dB
V_{DROP}	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
r_O	Output Resistance ⁽³⁶⁾	$f = 1\text{kHz}$	–	20.0	–	$\text{m}\Omega$
I_{SC}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
I_{PK}	Peak Current ⁽³⁶⁾	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Notes:

35. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

36. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Typical Performance Characteristics

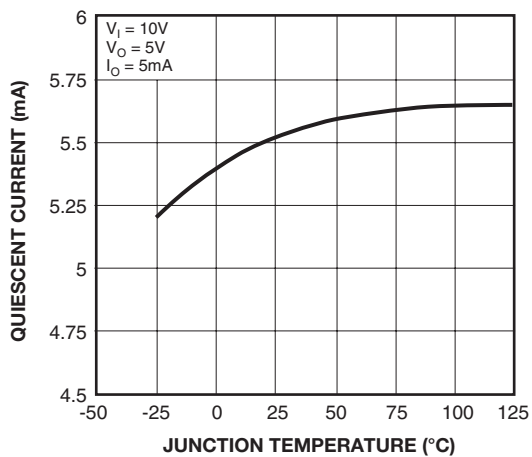


Figure 3. Quiescent Current

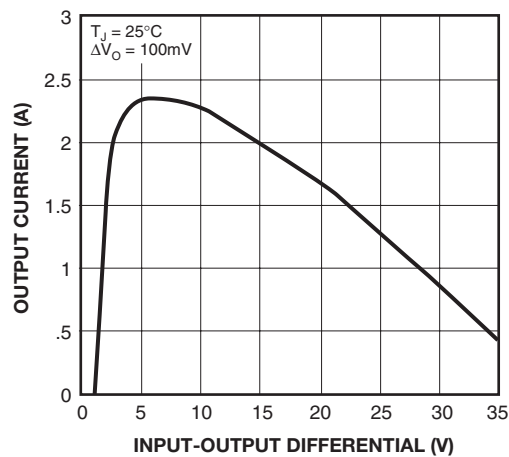


Figure 4. Peak Output Current

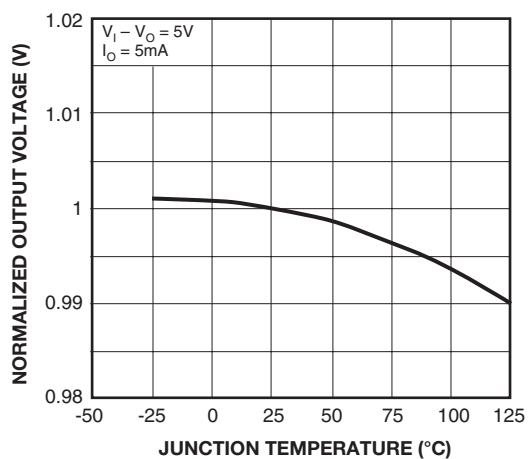


Figure 5. Output Voltage

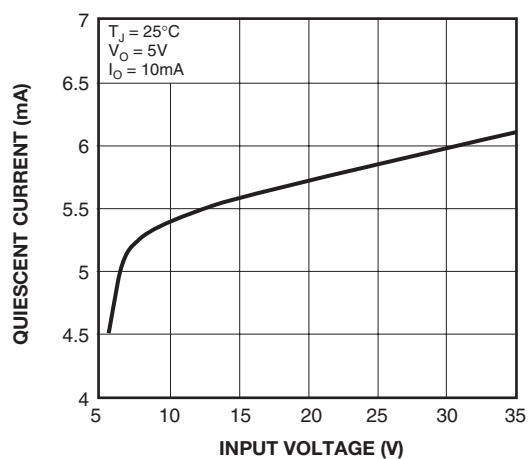


Figure 6. Quiescent Current

Typical Applications

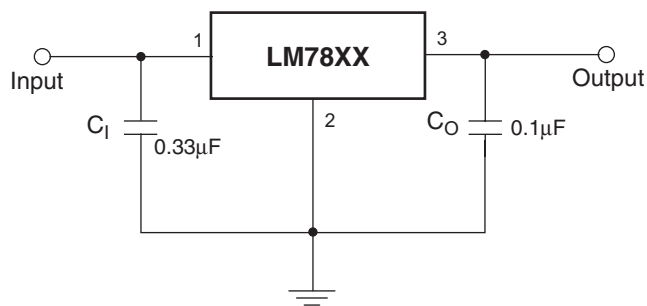


Figure 7. DC Parameters

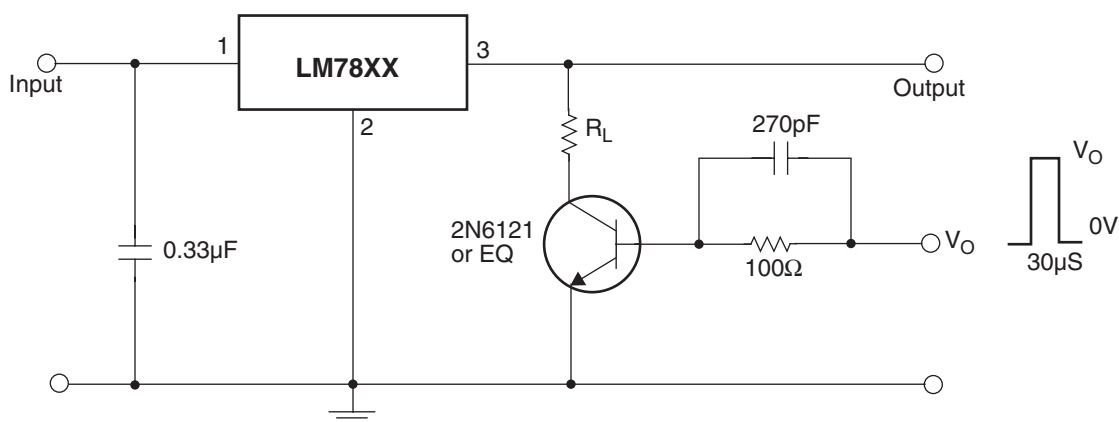


Figure 8. Load Regulation

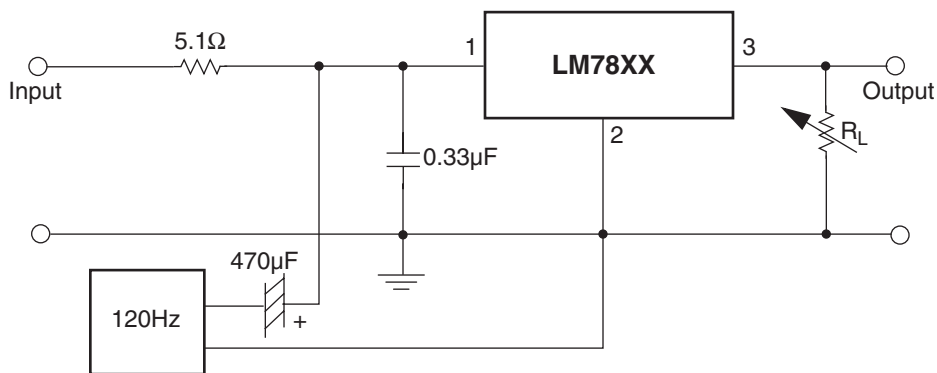


Figure 9. Ripple Rejection

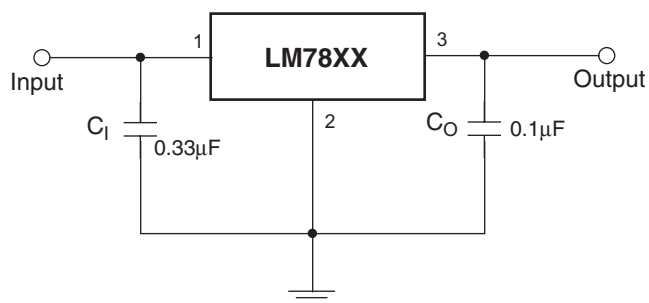
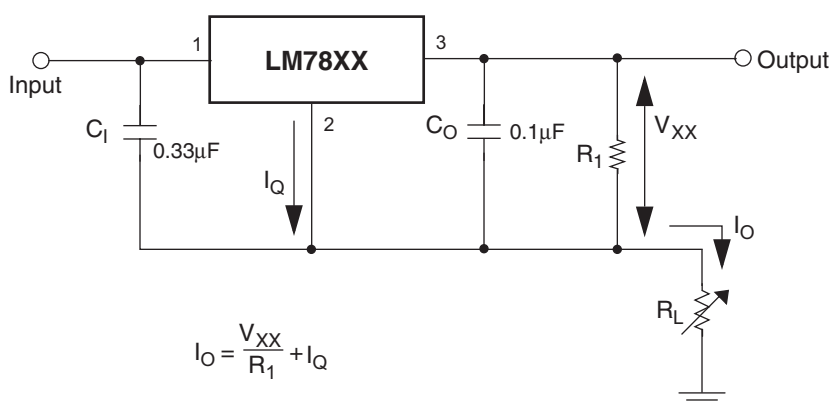


Figure 10. Fixed Output Regulator



Notes:

1. To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the input and the output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
2. C_1 is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
3. C_0 improves stability and transient response.

Figure 11.

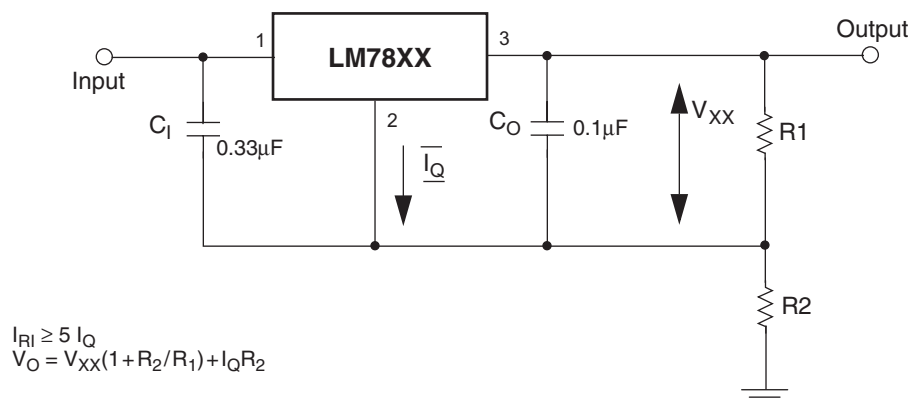


Figure 12. Circuit for Increasing Output Voltage

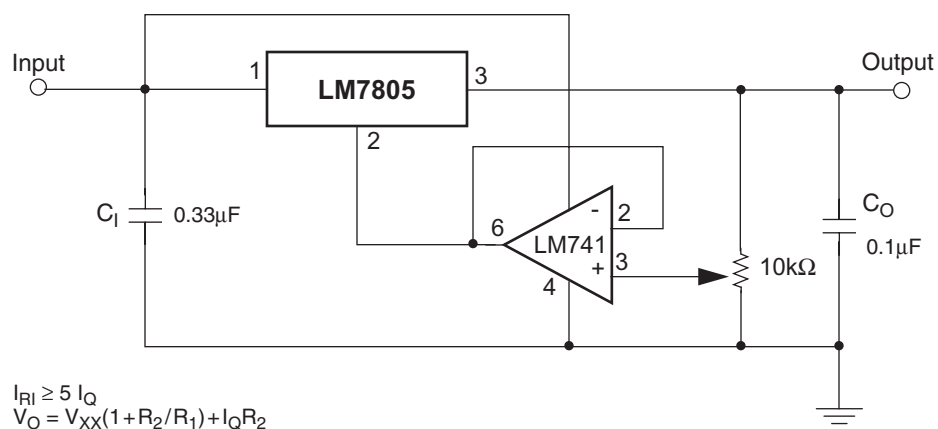


Figure 13. Adjustable Output Regulator (7V to 30V)

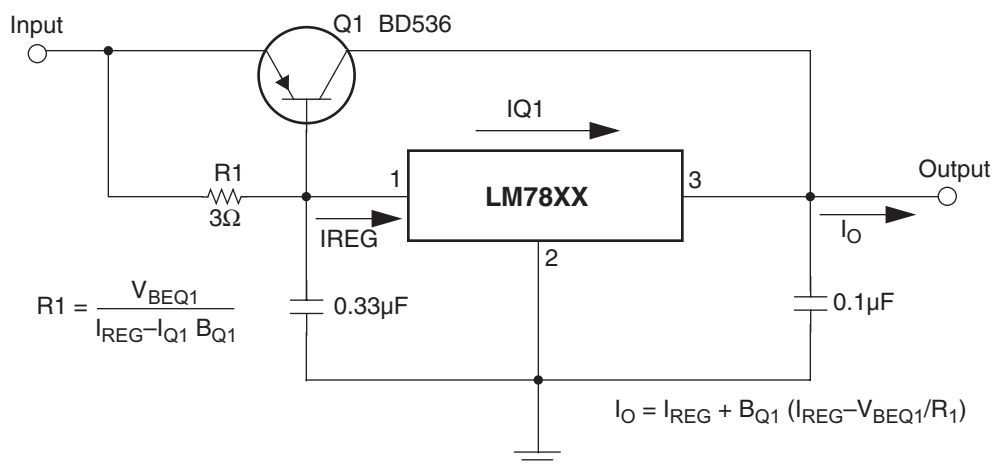


Figure 14. High Current Voltage Regulator

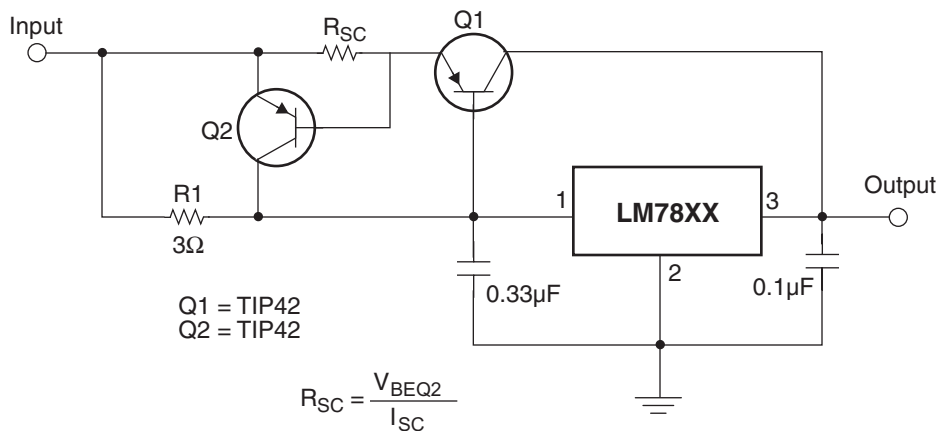


Figure 15. High Output Current with Short Circuit Protection

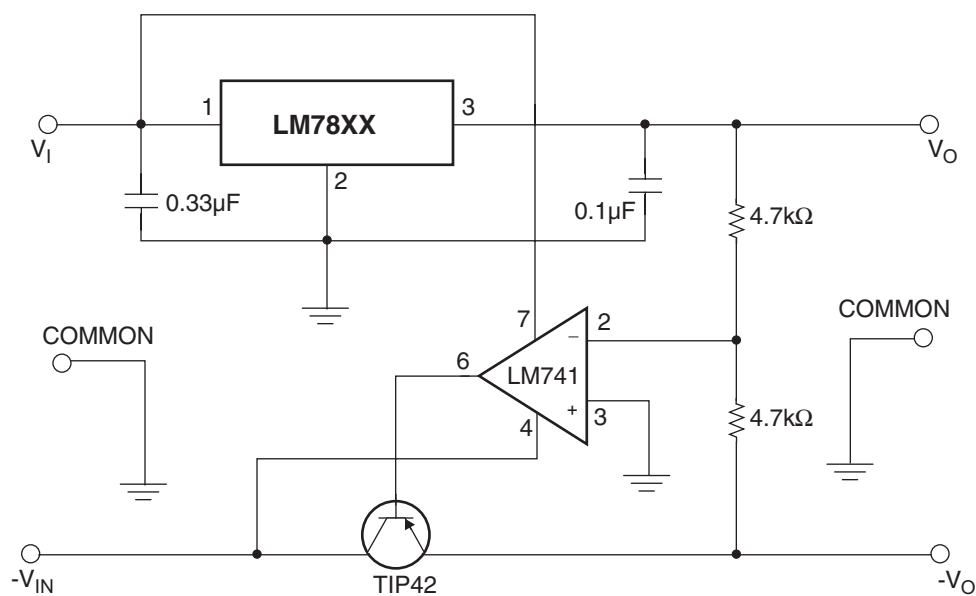


Figure 16. Tracking Voltage Regulator

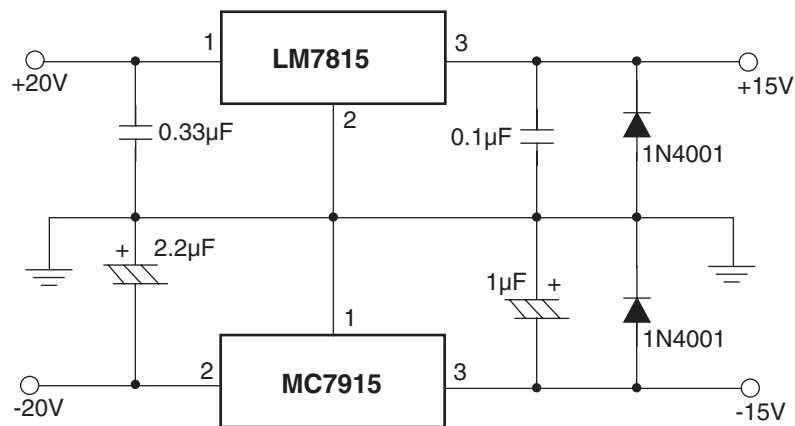


Figure 17. Split Power Supply ($\pm 15V - 1A$)

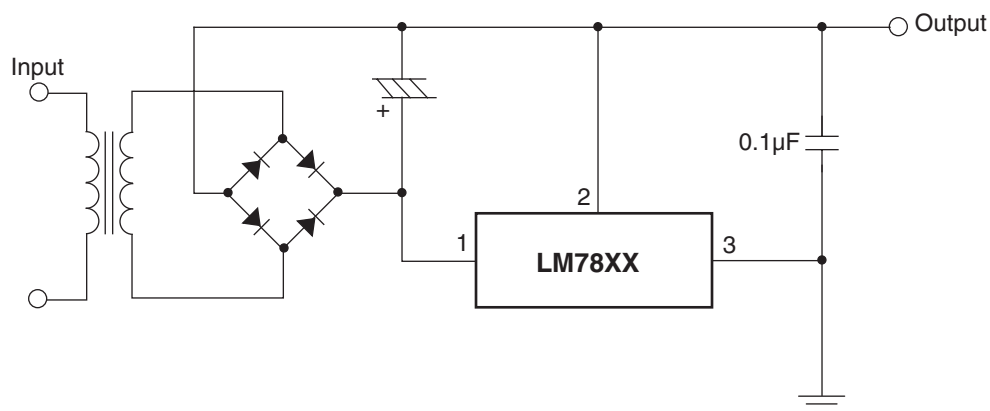


Figure 18. Negative Output Voltage Circuit

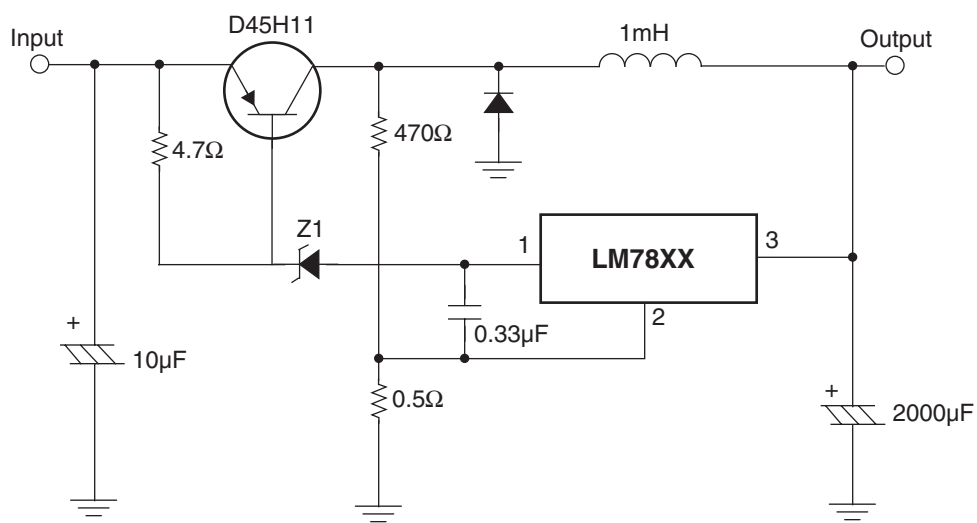
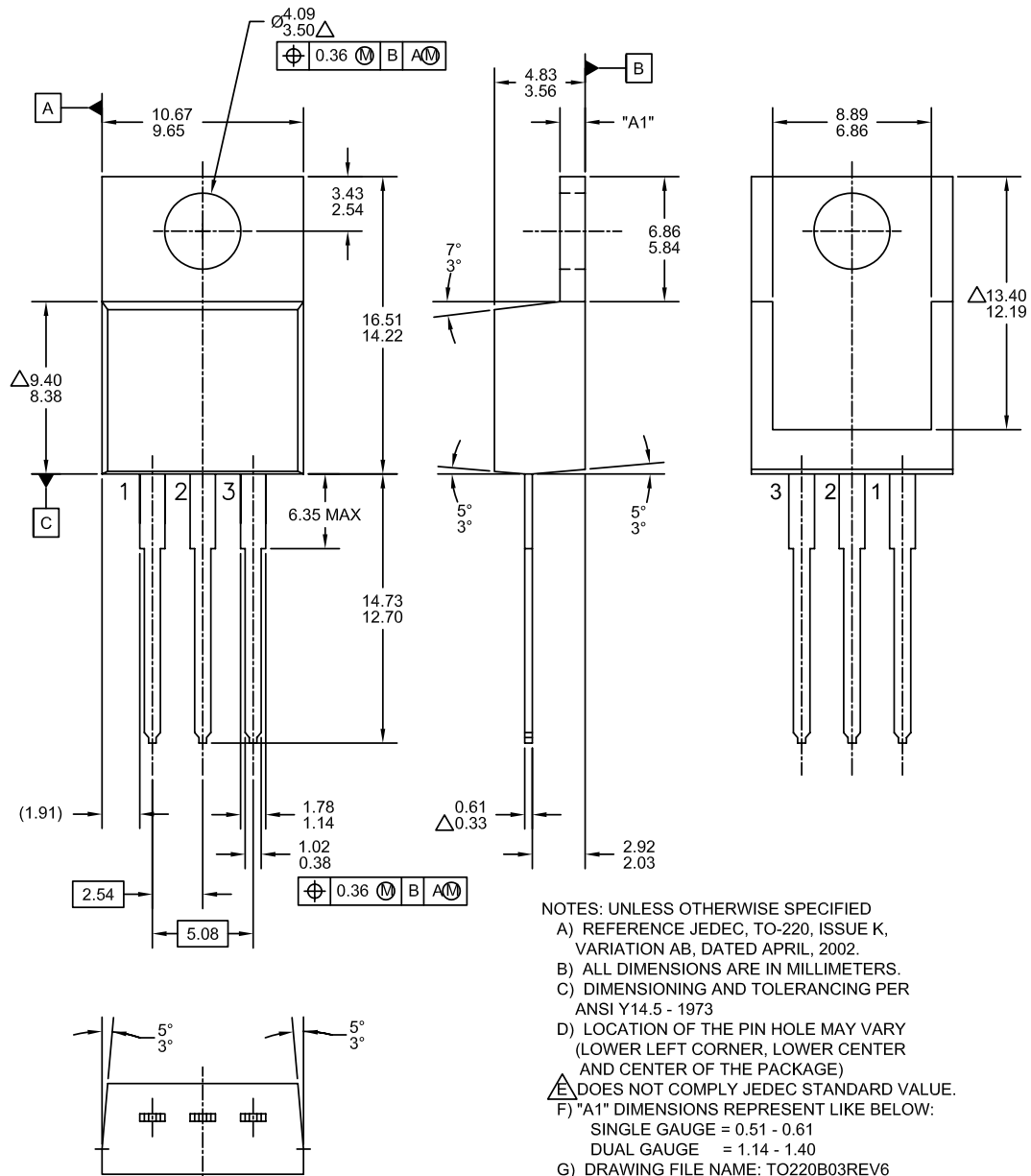


Figure 19. Switching Regulator

Mechanical Dimensions

Dimensions in millimeters





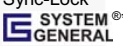
TO-220 [SINGLE GAUGE]





TRADEMARKS

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

AccuPower™	FRFET®	PowerTrench®	The Power Franchise®
Auto-SPM™	Global Power Resource™	PowerXS™	the power franchise
Build it Now™	Green FPS™	Programmable Active Droop™	TinyBoost™
CorePLUS™	Green FPS™ e-Series™	QFET®	TinyBuck™
CorePOWER™	Gmax™	QS™	TinyCalc™
CROSSVOLT™	GTO™	Quiet Series™	TinyLogic®
CTL™	IntelliMAX™	RapidConfigure™	TINYOPTO™
Current Transfer Logic™	ISOPLANAR™	 Saving our world, 1mW/W/kW at a time™	TinyPower™
DEUXPEED®	MegaBuck™	SignalWise™	TinyPWM™
Dual Cool™	MICROCOUPLER™	SmartMax™	TinyWire™
EcoSPARK®	MicroFET™	SMART START™	TriFault Detect™
EfficientMax™	MicroPak™	SPM®	TRUECURRENT™*
 Fairchild®	MicroPak2™	STEALTH™	µSerDes™
Fairchild Semiconductor®	MillerDrive™	SuperFET™	 SerDes®
FACT Quiet Series™	MotionMax™	SuperSOT™-3	UHC®
FACT®	Motion-SPM™	SuperSOT™-6	Ultra FRFET™
FAST®	OptoHiT™	SuperSOT™-8	UniFET™
FastvCore™	OPTOLOGIC®	SupreMOS™	VCX™
FETBench™	OPTOPLANAR®	SyncFET™	VisualMax™
FlashWriter®*	 PDP SPM™	Sync-Lock™	XS™
FPS™	Power-SPM™	 SYSTEM GENERAL®*	
F-PFS™			

* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

Rev. I47

DATA SHEET

74HC04; 74HCT04

Hex inverter

Product specification
Supersedes data of 1993 Sep 01

2003 Jul 23

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

FEATURES

- Complies with JEDEC standard no. 8-1A
- ESD protection:
HBM EIA/JESD22-A114-A exceeds 2000 V
MM EIA/JESD22-A115-A exceeds 200 V.
- Specified from -40 to $+85$ °C and -40 to $+125$ °C.

DESCRIPTION

The 74HC/HCT04 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LSTTL). They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A. The 74HC/HCT04 provide six inverting buffers.

QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; $T_{amb} = 25$ °C; $t_r = t_f \leq 6.0$ ns.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			HC04	HCT04	
t_{PHL}/t_{PLH}	propagation delay nA to nY	$C_L = 15$ pF; $V_{CC} = 5$ V	7	8	ns
C_I	input capacitance		3.5	3.5	pF
C_{PD}	power dissipation capacitance per gate	notes 1 and 2	21	24	pF

Notes

1. C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D in μ W).

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i \times N + \Sigma(C_L \times V_{CC}^2 \times f_o) \text{ where:}$$

f_i = input frequency in MHz;

f_o = output frequency in MHz;

C_L = output load capacitance in pF;

V_{CC} = supply voltage in Volts;

N = total load switching outputs;

$\Sigma(C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$ = sum of the outputs.

2. For 74HC04: the condition is $V_I = \text{GND to } V_{CC}$.

For 74HCT04: the condition is $V_I = \text{GND to } V_{CC} - 1.5$ V.

FUNCTION TABLE

See note 1.

INPUT	OUTPUT
nA	nY
L	H
H	L

Note

1. H = HIGH voltage level;
L = LOW voltage level.

Hex inverter

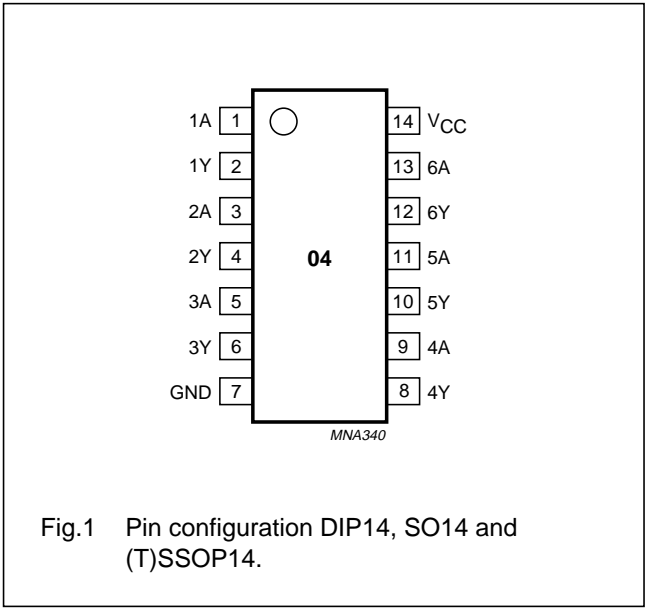
74HC04; 74HCT04

ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE				
	TEMPERATURE RANGE	PINS	PACKAGE	MATERIAL	CODE
74HC04N	−40 to +125 °C	14	DIP14	plastic	SOT27-1
74HCT04N	−40 to +125 °C	14	DIP14	plastic	SOT27-1
74HC04D	−40 to +125 °C	14	SO14	plastic	SOT108-1
74HCT04D	−40 to +125 °C	14	SO14	plastic	SOT108-1
74HC04DB	−40 to +125 °C	14	SSOP14	plastic	SOT337-1
74HCT04DB	−40 to +125 °C	14	SSOP14	plastic	SOT337-1
74HC04PW	−40 to +125 °C	14	TSSOP14	plastic	SOT402-1
74HCT04PW	−40 to +125 °C	14	TSSOP14	plastic	SOT402-1
74HC04BQ	−40 to +125 °C	14	DHVQFN14	plastic	SOT762-1
74HCT04BQ	−40 to +125 °C	14	DHVQFN14	plastic	SOT762-1

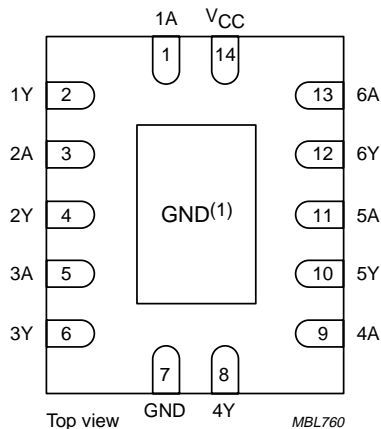
PINNING

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
1	1A	data input
2	1Y	data output
3	2A	data input
4	2Y	data output
5	3A	data input
6	3Y	data output
7	GND	ground (0 V)
8	4Y	data output
9	4A	data input
10	5Y	data output
11	5A	data input
12	6Y	data output
13	6A	data input
14	V _{CC}	supply voltage



Hex inverter

74HC04; 74HCT04



(1) The die substrate is attached to this pad using conductive die attach material. It can not be used as a supply pin or input.

Fig.2 Pin configuration DHVQFN14.

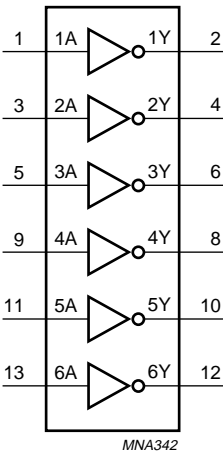


Fig.3 Logic symbol.

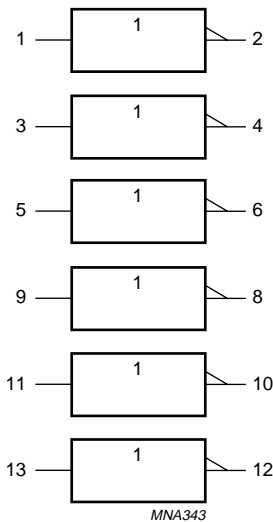


Fig.4 IEC logic symbol.

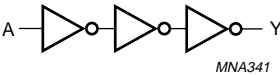


Fig.5 Logic diagram (one inverter).

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	74HC04			74HCT04			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.	
V_{CC}	supply voltage		2.0	5.0	6.0	4.5	5.0	5.5	V
V_I	input voltage		0	–	V_{CC}	0	–	V_{CC}	V
V_O	output voltage		0	–	V_{CC}	0	–	V_{CC}	V
T_{amb}	ambient temperature	see DC and AC characteristics per device	–40	+25	+125	–40	+25	+125	°C
t_r, t_f	input rise and fall times	$V_{CC} = 2.0$ V	–	–	1000	–	–	–	ns
		$V_{CC} = 4.5$ V	–	6.0	500	–	6.0	500	ns
		$V_{CC} = 6.0$ V	–	–	400	–	–	–	ns

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134); voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CC}	supply voltage		–0.5	+7.0	V
I_{IK}	input diode current	$V_I < -0.5$ V or $V_I > V_{CC} + 0.5$ V	–	±20	mA
I_{OK}	output diode current	$V_O < -0.5$ V or $V_O > V_{CC} + 0.5$ V	–	±20	mA
I_O	output source or sink current	-0.5 V < V_O < $V_{CC} + 0.5$ V	–	±25	mA
I_{CC}, I_{GND}	V_{CC} or GND current		–	±50	mA
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
P_{tot}	power dissipation				
	DIP14 package	$T_{amb} = -40$ to $+125$ °C; note 1	–	750	mW
	other packages	$T_{amb} = -40$ to $+125$ °C; note 2	–	500	mW

Notes

- For DIP14 packages: above 70 °C derate linearly with 12 mW/K.
- For SO14 packages: above 70 °C derate linearly with 8 mW/K.
For SSOP14 and TSSOP14 packages: above 60 °C derate linearly with 5.5 mW/K.
For DHVQFN14 packages: above 60 °C derate linearly with 4.5 mW/K.

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

DC CHARACTERISTICS

Type 74HC04

At recommended operating conditions; voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		OTHER	V _{CC} (V)				
T _{amb} = 25 °C							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		2.0	1.5	1.2	–	V
			4.5	3.15	2.4	–	V
			6.0	4.2	3.2	–	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		2.0	–	0.8	0.5	V
			4.5	–	2.1	1.35	V
			6.0	–	2.8	1.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = –20 μA	2.0	1.9	2.0	–	V
		I _O = –20 μA	4.5	4.4	4.5	–	V
		I _O = –4.0 mA	4.5	3.98	4.32	–	V
		I _O = –20 μA	6.0	5.9	6.0	–	V
		I _O = –5.2 mA	6.0	5.48	5.81	–	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = 20 μA	2.0	–	0	0.1	V
		I _O = 20 μA	4.5	–	0	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	–	0.15	0.26	V
		I _O = 20 μA	6.0	–	0	0.1	V
		I _O = 5.2 mA	6.0	–	0.16	0.26	V
I _{LI}	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	6.0	–	0.1	±0.1	μA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND	6.0	–	–	±0.5	μA
I _{CC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	6.0	–	–	2	μA

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		OTHER	V _{CC} (V)				
T _{amb} = −40 to +85 °C							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		2.0	1.5	—	—	V
			4.5	3.15	—	—	V
			6.0	4.2	—	—	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		2.0	—	—	0.5	V
			4.5	—	—	1.35	V
			6.0	—	—	1.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = −20 μA	2.0	1.9	—	—	V
		I _O = −20 μA	4.5	4.4	—	—	V
		I _O = −4.0 mA	4.5	3.84	—	—	V
		I _O = −20 μA	6.0	5.9	—	—	V
		I _O = −5.2 mA	6.0	5.34	—	—	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = 20 μA	2.0	—	—	0.1	V
		I _O = 20 μA	4.5	—	—	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	—	—	0.33	V
		I _O = 20 μA	6.0	—	—	0.1	V
		I _O = 5.2 mA	6.0	—	—	0.33	V
I _{LI}	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	6.0	—	—	±1.0	μA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND	6.0	—	—	±5.0	μA
I _{CC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	6.0	—	—	20	μA

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		OTHER	V _{CC} (V)				
T _{amb} = −40 to +125 °C							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		2.0	1.5	—	—	V
			4.5	3.15	—	—	V
			6.0	4.2	—	—	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		2.0	—	—	0.5	V
			4.5	—	—	1.35	V
			6.0	—	—	1.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = −20 μA	2.0	1.9	—	—	V
		I _O = −20 μA	4.5	4.4	—	—	V
		I _O = −20 μA	6.0	5.9	—	—	V
		I _O = −4.0 mA	4.5	3.7	—	—	V
		I _O = −5.2 mA	6.0	5.2	—	—	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = 20 μA	2.0	—	—	0.1	V
		I _O = 20 μA	4.5	—	—	0.1	V
		I _O = 20 μA	6.0	—	—	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	—	—	0.4	V
		I _O = 5.2 mA	6.0	—	—	0.4	V
I _{LI}	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	6.0	—	—	±1.0	μA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND	6.0	—	—	±10.0	μA
I _{CC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	6.0	—	—	40	μA

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

Type 74HCT04

At recommended operating conditions; voltages are referenced to GND (ground = 0 V).

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		OTHER	V _{CC} (V)				
T _{amb} = 25 °C							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		4.5 to 5.5	2.0	1.6	–	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		4.5 to 5.5	–	1.2	0.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = –20 μA	4.5	4.4	4.5	–	V
		I _O = –4.0 mA	4.5	3.84	4.32	–	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = 20 μA	4.5	–	0	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	–	0.15	0.26	V
I _{LI}	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	5.5	–	–	±0.1	μA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	±0.5	μA
I _{CC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	2	μA
ΔI _{CC}	additional supply current per input	V _I = V _{CC} – 2.1 V; I _O = 0	4.5 to 5.5	–	120	432	μA
T _{amb} = –40 to +85 °C							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		4.5 to 5.5	2.0	–	–	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		4.5 to 5.5	–	–	0.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = –20 μA	4.5	4.4	–	–	V
		I _O = –4.0 mA	4.5	3.84	–	–	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = 20 μA	4.5	–	–	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	–	–	0.33	V
I _{LI}	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	5.5	–	–	±1.0	μA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	±5.0	μA
I _{CC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	20	μA
ΔI _{CC}	additional supply current per input	V _I = V _{CC} – 2.1 V; I _O = 0	4.5 to 5.5	–	–	540	μA

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		OTHER	V _{CC} (V)				
T _{amb} = −40 to +125 °C							
V _{IH}	HIGH-level input voltage		4.5 to 5.5	2.0	–	–	V
V _{IL}	LOW-level input voltage		4.5 to 5.5	–	–	0.8	V
V _{OH}	HIGH-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = −20 μA	4.5	4.4	–	–	V
		I _O = −4.0 mA	4.5	3.7	–	–	V
V _{OL}	LOW-level output voltage	V _I = V _{IH} or V _{IL}					
		I _O = 20 μA	4.5	–	–	0.1	V
		I _O = 4.0 mA	4.5	–	–	0.4	V
I _{LI}	input leakage current	V _I = V _{CC} or GND	5.5	–	–	±1.0	μA
I _{OZ}	3-state output OFF current	V _I = V _{IH} or V _{IL} ; V _O = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	±10	μA
I _{CC}	quiescent supply current	V _I = V _{CC} or GND; I _O = 0	5.5	–	–	40	μA
ΔI _{CC}	additional supply current per input	V _I = V _{CC} − 2.1 V; I _O = 0	4.5 to 5.5	–	–	590	μA

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

AC CHARACTERISTICS

Family 74HC04

GND = 0 V; $t_r = t_f \leq 6.0$ ns; $C_L = 50$ pF.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		WAVEFORMS	V _{CC} (V)				
T _{amb} = 25 °C							
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay nA to nY	see Figs 6 and 7	2.0	–	25	85	ns
			4.5	–	9	17	ns
			6.0	–	7	14	ns
t _{THL} /t _{TLH}	output transition time	see Figs 6 and 7	2.0	–	19	75	ns
			4.5	–	7	15	ns
			6.0	–	6	13	ns
T _{amb} = –40 to +85 °C							
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay nA to nY	see Figs 6 and 7	2.0	–	–	105	ns
			4.5	–	–	21	ns
			6.0	–	–	18	ns
t _{THL} /t _{TLH}	output transition time	see Figs 6 and 7	2.0	–	–	95	ns
			4.5	–	–	19	ns
			6.0	–	–	16	ns
T _{amb} = –40 to +125 °C							
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay nA to nY	see Figs 6 and 7	2.0	–	–	130	ns
			4.5	–	–	26	ns
			6.0	–	–	22	ns
t _{THL} /t _{TLH}	output transition time	see Figs 6 and 7	2.0	–	–	110	ns
			4.5	–	–	22	ns
			6.0	–	–	19	ns

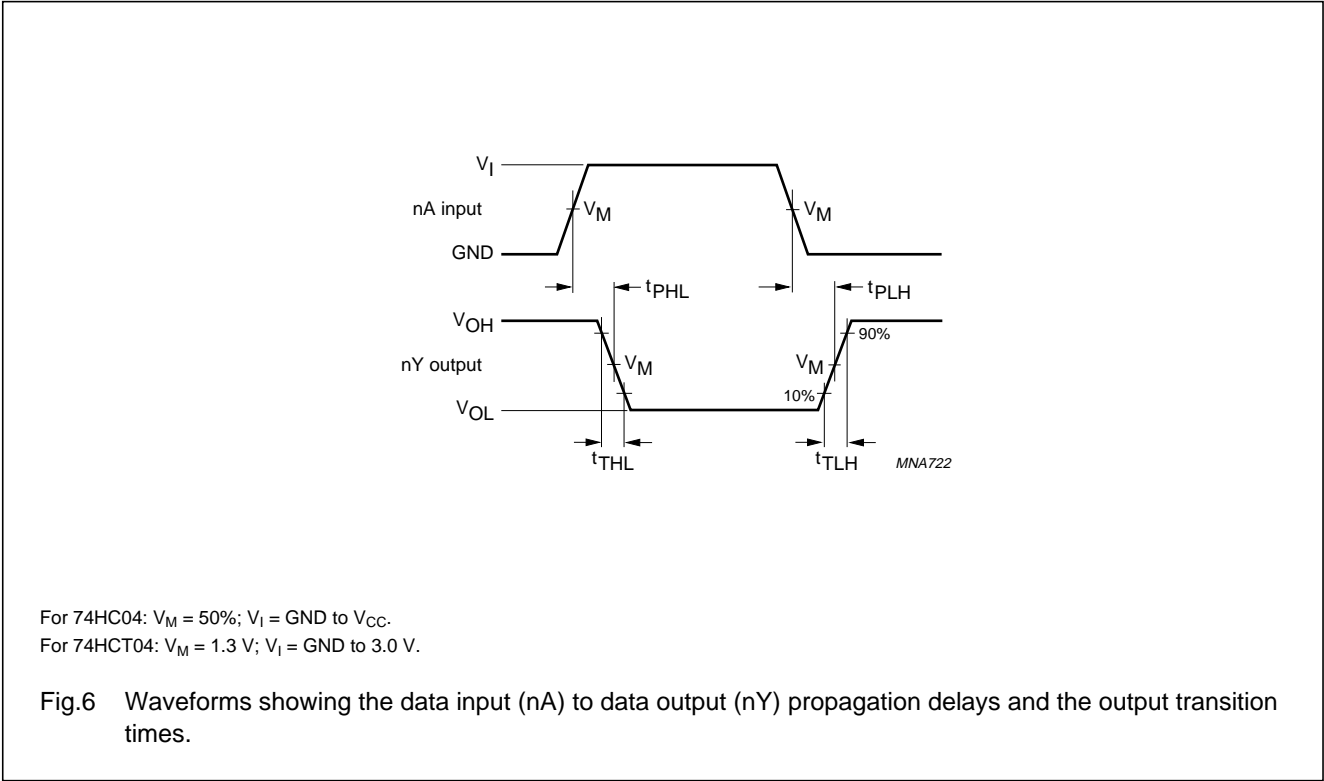
Hex inverter

74HC04; 74HCT04

Family 74HCT04
GND = 0 V; $t_r = t_f \leq 6.0$ ns; $C_L = 50$ pF.

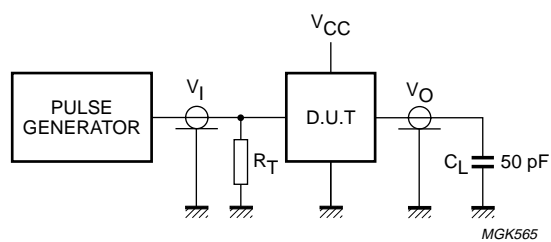
SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS		MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
		WAVEFORMS	V _{CC} (V)				
T _{amb} = 25 °C							
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay nA to nY	see Figs 6 and 7	4.5	–	10	19	ns
t _{THL} /t _{TLH}	output transition time	see Figs 6 and 7	4.5	–	7	15	ns
T _{amb} = –40 to +85 °C							
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay nA to nY	see Figs 6 and 7	4.5	–	–	24	ns
t _{THL} /t _{TLH}	output transition time	see Figs 6 and 7	4.5	–	–	19	ns
T _{amb} = –40 to +125 °C							
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay nA to nY	see Figs 6 and 7	4.5	–	–	29	ns
t _{THL} /t _{TLH}	output transition time	see Figs 6 and 7	4.5	–	–	22	ns

AC WAVEFORMS



Hex inverter

74HC04; 74HCT04



Definitions for test circuit:

C_L = Load capacitance including jig and probe capacitance.

R_T = Termination resistance should be equal to the output impedance Z_o of the pulse generator.

Fig.7 Load circuitry for switching times.

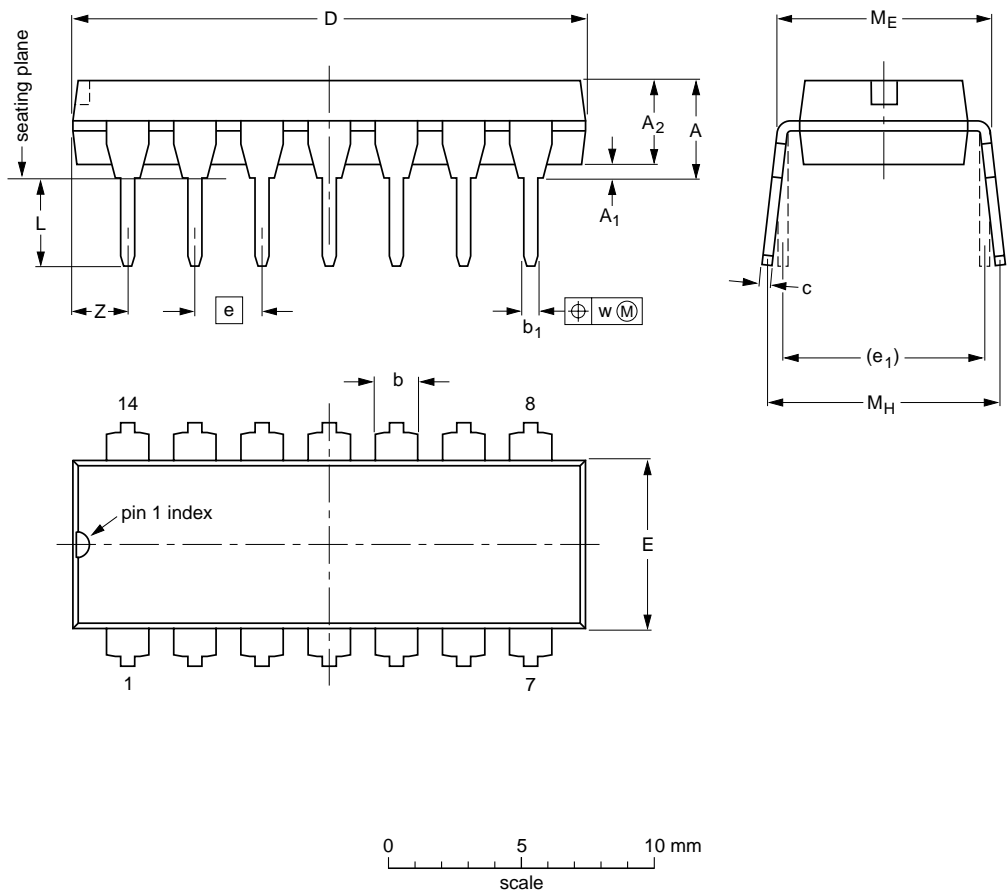
Hex inverter

74HC04; 74HCT04

PACKAGE OUTLINES

DIP14: plastic dual in-line package; 14 leads (300 mil)

SOT27-1

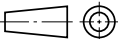


DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	M _E	M _H	w	Z ⁽¹⁾ max.
mm	4.2	0.51	3.2	1.73 1.13	0.53 0.38	0.36 0.23	19.50 18.55	6.48 6.20	2.54	7.62	3.60 3.05	8.25 7.80	10.0 8.3	0.254	2.2
inches	0.17	0.02	0.13	0.068 0.044	0.021 0.015	0.014 0.009	0.77 0.73	0.26 0.24	0.1	0.3	0.14 0.12	0.32 0.31	0.39 0.33	0.01	0.087

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm (0.01 inch) maximum per side are not included.

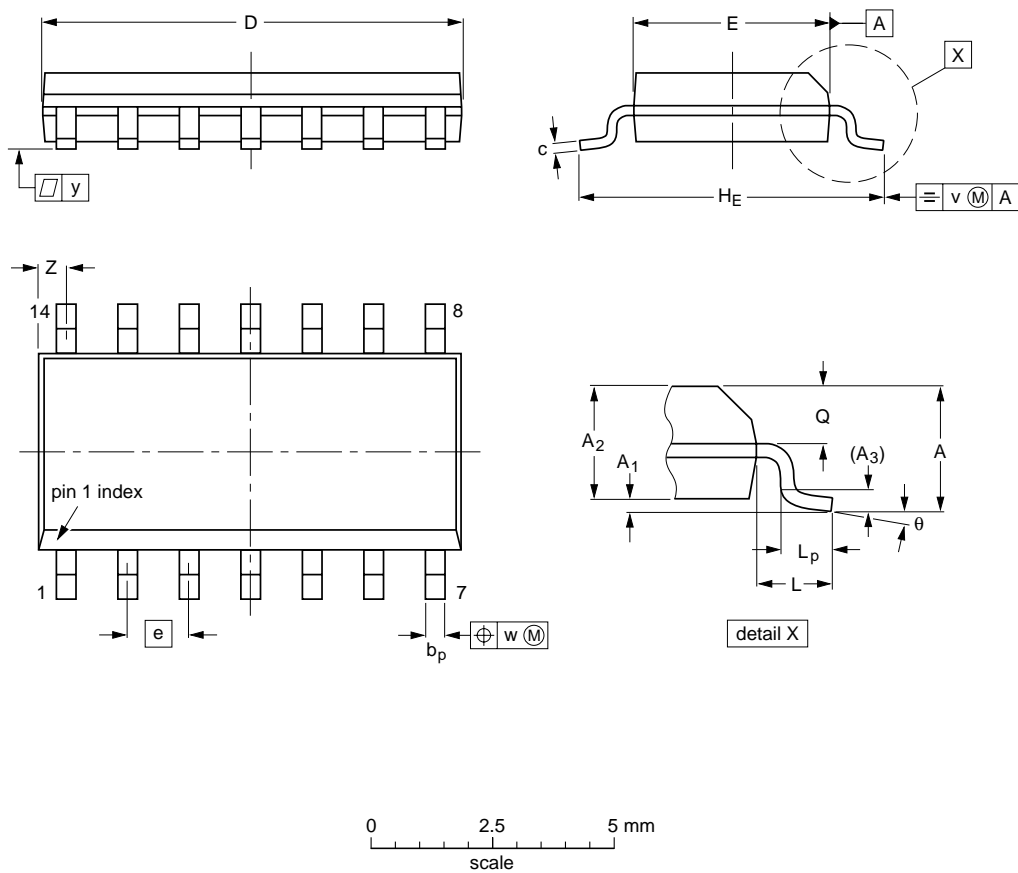
OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA			
SOT27-1	050G04	MO-001	SC-501-14			99-12-27- 03-02-13

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

SO14: plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm

SOT108-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	Z ⁽¹⁾	θ
mm	1.75	0.25 0.10	1.45 1.25	0.25	0.49 0.36	0.25 0.19	8.75 8.55	4.0 3.8	1.27	6.2 5.8	1.05	1.0 0.4	0.7 0.6	0.25	0.25	0.1	0.7 0.3	8° 0°
inches	0.069	0.010 0.004	0.057 0.049	0.01	0.019 0.014	0.0100 0.0075	0.35 0.34	0.16 0.15	0.05	0.244 0.228	0.041	0.039 0.016	0.028 0.024	0.01	0.01	0.004	0.028 0.012	

Note
1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm (0.006 inch) maximum per side are not included.

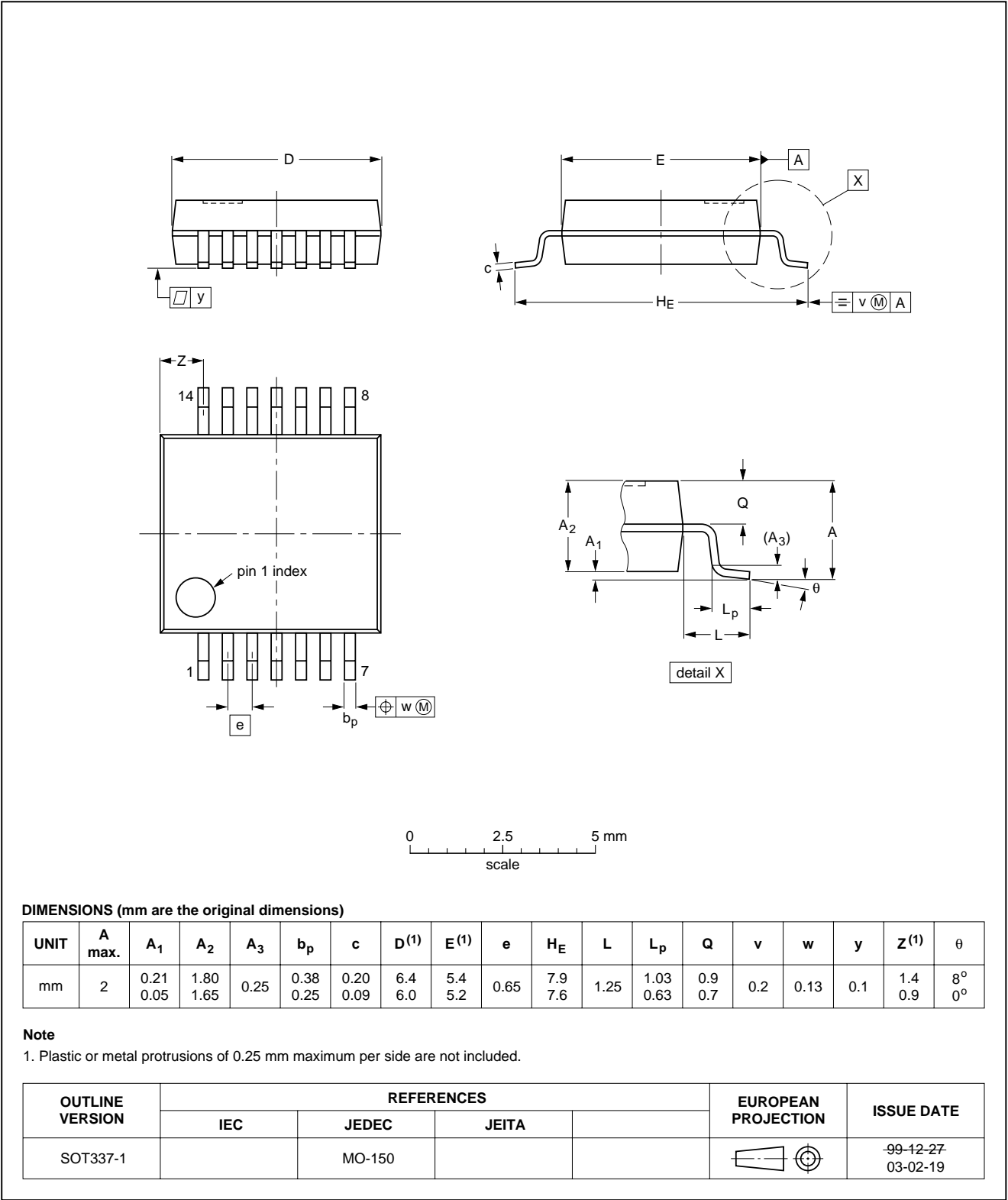
OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA			
SOT108-1	076E06	MS-012				99-12-27 03-02-19

Hex inverter

74HC04; 74HCT04

SSOP14: plastic shrink small outline package; 14 leads; body width 5.3 mm

SOT337-1

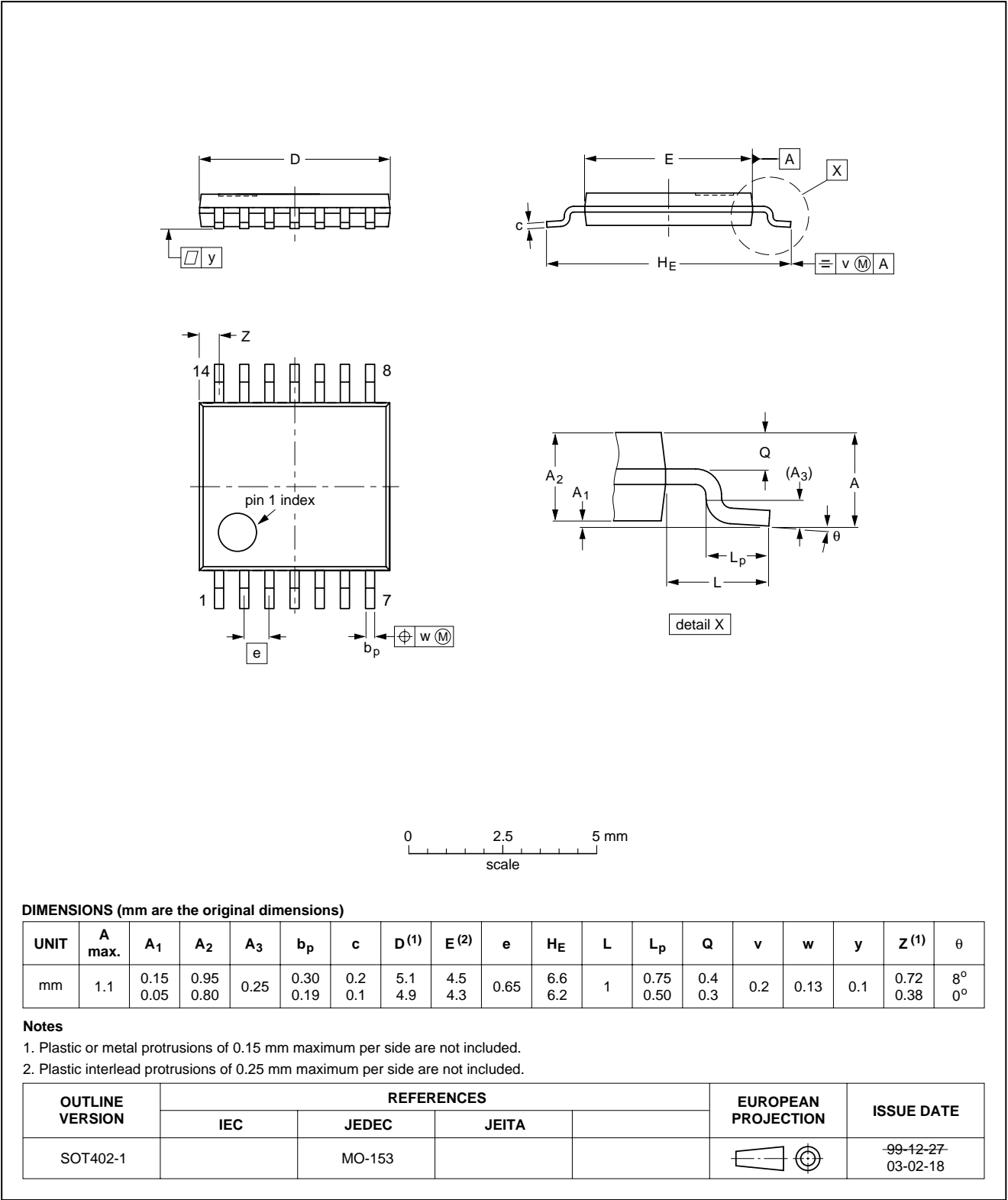


Hex inverter

74HC04; 74HCT04

TSSOP14: plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm

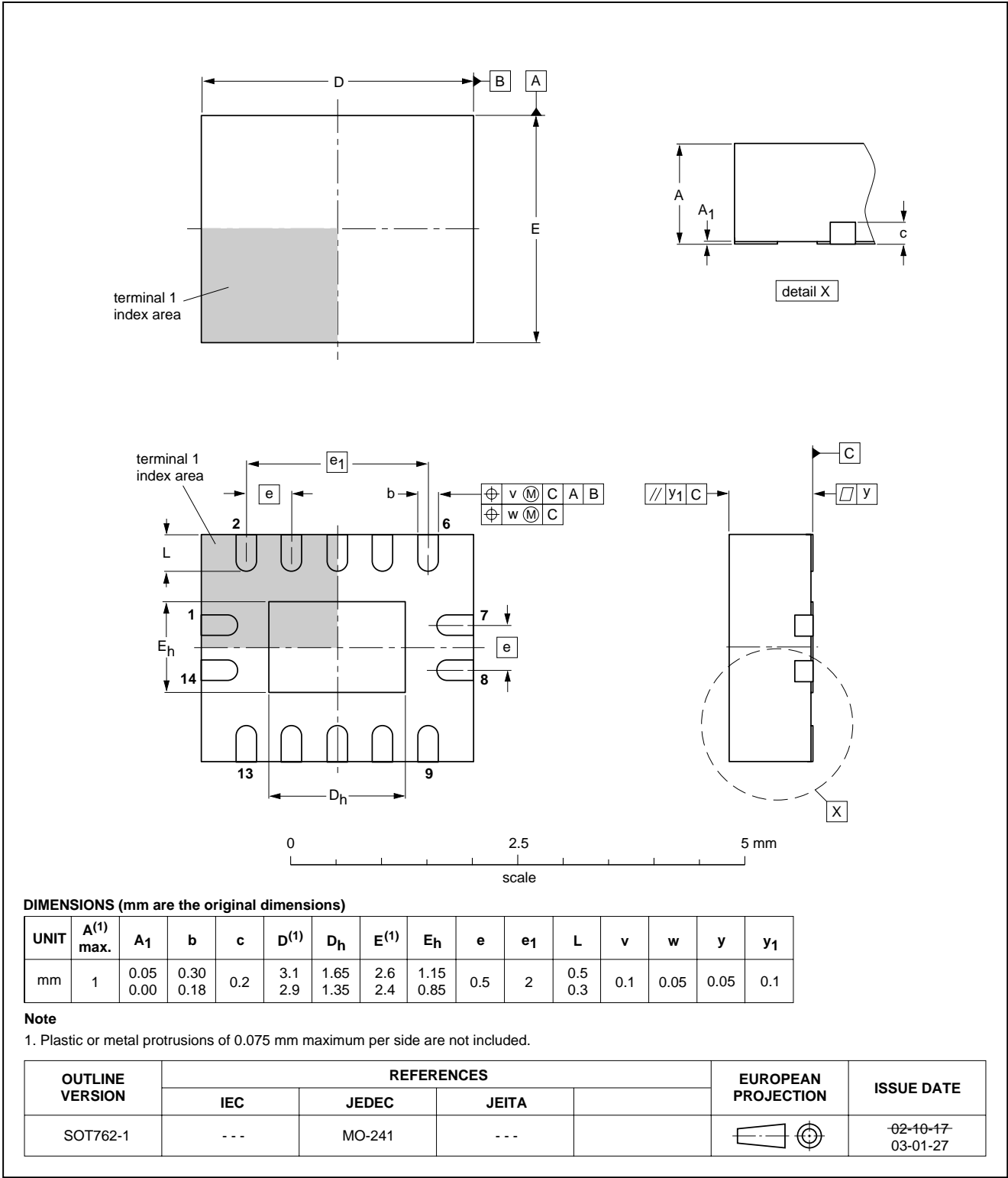
SOT402-1



Hex inverter

74HC04; 74HCT04

DHVQFN14: plastic dual in-line compatible thermal enhanced very thin quad flat package; no leads; 14 terminals; body 2.5 x 3 x 0.85 mm SOT762-1



Hex inverter

74HC04; 74HCT04

DATA SHEET STATUS

LEVEL	DATA SHEET STATUS ⁽¹⁾	PRODUCT STATUS ⁽²⁾⁽³⁾	DEFINITION
I	Objective data	Development	This data sheet contains data from the objective specification for product development. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification in any manner without notice.
II	Preliminary data	Qualification	This data sheet contains data from the preliminary specification. Supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification without notice, in order to improve the design and supply the best possible product.
III	Product data	Production	This data sheet contains data from the product specification. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time in order to improve the design, manufacturing and supply. Relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN).

Notes

1. Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.
2. The product status of the device(s) described in this data sheet may have changed since this data sheet was published. The latest information is available on the Internet at URL <http://www.semiconductors.philips.com>.
3. For data sheets describing multiple type numbers, the highest-level product status determines the data sheet status.

DEFINITIONS

Short-form specification — The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition — Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors make no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

DISCLAIMERS

Life support applications — These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes — Philips Semiconductors reserves the right to make changes in the products - including circuits, standard cells, and/or software - described or contained herein in order to improve design and/or performance. When the product is in full production (status 'Production'), relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN). Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no licence or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

Philips Semiconductors – a worldwide company

Contact information

For additional information please visit **<http://www.semiconductors.philips.com>**. Fax: **+31 40 27 24825**

For sales offices addresses send e-mail to: **sales.addresses@www.semiconductors.philips.com**.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2003

SCA75

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

613508/03/pp20

Date of release: 2003 Jul 23

Document order number: 9397 750 11256

Let's make things better.

**Philips
Semiconductors**



PHILIPS